



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE DE LA CIUDAD DE ECHEANDÍA – PROVINCIA  
BOLÍVAR”**

**Trabajo de titulación presentado para obtener el Grado Académico de:**  
**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: LIGIA MARGARITA DELGADO RUÍZ**  
**TUTOR: ING. MARIO VILLACRÉS**

**Riobamba – Ecuador**

**2015**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios, por guiar mi camino y hacer de este un sendero lleno de bendiciones y logros.*

*A mis padres, Olger y Mercedes por ser el pilar fundamental en mi vida, ya que con sus enseñanzas, esfuerzo y amor incondicional, han sabido inculcarme buenos modales para llegar a cumplir una meta más en mi vida, a mis hermanos por brindarme su compañía y aliento.*

*A la Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Echeandía, quienes me abrieron la puerta para realizar esta investigación, en especial al Ingeniero Milton Alarcón Gerente de la CAPAE, al Licenciado Fernando Mejía, por todo el apoyo y colaboración que han demostrado hacia mi persona, a los señores operadores de la planta que me han facilitado con su valiosa información.*

*Un especial agradecimiento a la Ing. Valeria Tapia y al Ing. Mario Villacrés por su apoyo, contribuyendo con sus amplios conocimientos para llegar a la culminación de este proyecto de investigación.*

*Finalmente a todas las personas que han sido parte esencial en mi vida, quienes con sus consejos y su aliento ayudaron a concluir una meta más.*

*Ligia Margarita Delgado Ruiz*

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de investigación dedico a mis padres, Olger y Mercedes, por ser los protagonistas de mis sueños por tanto amor y comprensión, guiándome siempre por el camino del bien, a mis hermanos, y a toda mi familia.*

*A Freddy la persona más especial en mi vida, por apoyarme en todo momento y por ser mi confidente en mis sueños e ideales.*

*Ligia Margarita Delgado Ruiz*

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE ECHEANDÍA – PROVINCIA BOLÍVAR”, de responsabilidad de la señorita egresada Ligia Margarita Delgado Ruiz, ha sido revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizado su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Mario Villacrés

**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Valeria Tapia

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DOCUMENTALISTA**

**DEL SISBIB**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **HOJA DE RESPONSABILIDAD**

“Yo, **LIGIA MARGARITA DELGADO RUÍZ**, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación, pertenecen a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”

---

**LIGIA MARAGARITA DELGADO RUIZ**

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pp.
PORTADA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
HOJA DE CERTIFICACIÓN.....	iv
HOLA DE RESPONSABILIDAD.....	v
RESUMEN.....	xx
SUMMARY.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	5

## CAPITULO I

1	MARCO TEÓRICO.....	6
1.1	Agua.....	6
1.2	Agua cruda (Sin tratamiento) .....	6
1.3	Agua tratada (Agua potable) .....	6
1.4	Importancia del agua .....	7
1.5	Ciclo hidrológico.....	7
1.6	Calcificación de los cuerpos de agua.....	8
1.6.1	Lluvia.....	8
1.6.2	Agua de superficie .....	8
1.6.3	Ríos .....	8
1.6.4	Lagos .....	9
1.6.5	Agua subterránea .....	9
1.7	Fuentes de contaminación del agua .....	9
1.8	Calidad del agua .....	10
1.8.1	Características Físicas del Agua.....	10
1.8.1.1	Turbidez .....	10

1.8.1.2	Color .....	11
1.8.1.3	Olor y Sabor .....	11
1.8.1.4	Temperatura .....	12
1.8.1.5	Conductividad .....	12
1.8.1.6	pH.....	12
1.8.1.7	Solidos .....	12
1.8.2	Características Químicas .....	13
1.8.2.1	Alcalidad .....	13
1.8.2.2	Fosfatos .....	14
1.8.2.3	Aluminio .....	14
1.8.2.4	Amoníaco .....	15
1.8.2.5	Cloruro.....	15
1.8.2.6	Cloro.....	15
1.8.2.7	Dureza .....	15
1.8.2.8	Hierro .....	16
1.8.2.9	Manganeso.....	16
1.8.2.10	Sulfatos .....	16
1.8.2.11	Nitratos .....	17
1.8.2.12	Características Microbiológicas .....	17
1.9	Selección del procesos del tratamiento del agua .....	18
1.10	Proceso de Tratamiento del agua .....	18
1.10.1	Captación .....	19
1.10.2	Aducción .....	19
1.10.3	Mezcla rápida .....	19
1.10.4	Coagulación .....	19
1.10.4.1	Agentes Coagulantes .....	23
1.10.5	Floculación.....	25
1.10.6	Sedimentación.....	25
1.10.7	Filtración .....	27
1.10.8	Desinfección .....	29
1.10.8.1	Dosificación de Cloro Gas .....	30
1.10.8.2	Control Final .....	31
1.11	Pruebas de Jarras .....	31
1.12	Optimización de la planta de tratamiento .....	32
1.12.1	Caudal de diseño .....	32
1.12.1.1	Población de diseño .....	32
1.12.1.2	Nivel de complejidad del sistema .....	33

1.12.1.3	Dotación Neta.....	33
1.12.1.4	Dotacion Bruta .....	34
1.12.1.5	Caudal Medio Diario .....	35
1.12.1.6	Caudal Máximo Diario.....	35
1.12.1.7	Caudal de captación .....	36
1.13	Mezcla rápida en vertedero rectangular .....	36
1.13.1	Canal del vertedero.....	37
1.13.2	Ancho del vertedero.....	37
1.13.3	Caudal por unidad de ancho.....	38
1.13.4	Profundidad Crítica del flujo.....	38
1.13.5	Longitud de salto.....	39
1.13.6	Profundidad Supercrítica o altura del agua después del salto .....	39
1.13.7	Velocidad del agua en el salto.....	40
1.13.8	Numero de Froude.....	40
1.13.9	Profundidad Subcrítica o altura del agua después del resalto .....	41
1.13.10	Velocidad del agua en el resalto.....	41
1.13.11	Pérdida de energía en el resalto .....	42
1.13.12	Longitud de resalto.....	42
1.13.13	Velocidad media en el resalto.....	43
1.13.14	Tiempo de mezcla.....	43
1.13.15	Gradiente de velocidad .....	43

## CAPITULO II

2	PARTE EXPERIMENTAL.....	45
2.1	MUESTREO .....	45
2.1.1	Localización de la investigación .....	45
2.1.2	Método de recolección de información.....	45
2.1.2.1	Método inductivo .....	45
2.1.2.2	Método deductivo .....	46
2.1.2.3	Método experimental .....	46
2.1.3	Procedimiento para la recolección de la información.....	46
2.2	Metodología .....	47
2.2.1	Metodología de trabajo.....	47
2.2.2	Técnicas de recolección.....	47
2.2.2.1	Pasos de las Técnicas de Muestreo.....	48
2.3	Identificación de las Muestras .....	48



2.3.1	Transporte de las muestras .....	49
2.3.2	Tratamiento de muestras .....	49
2.3.3	Equipos, materiales y reactivos.....	50
2.3.4	Métodos y Técnicas .....	51
2.3.4.1	Métodos .....	51
2.3.4.2	Medidas de caudal.....	53
2.4	Datos experimentales .....	53
2.4.1	Diagnostico actual de la Planta.....	53
2.4.2	Planta de Tratamiento .....	55
2.4.2.1	Captación .....	55
2.4.2.2	Red de Conducción .....	55
2.4.2.3	Tanque de Entrada.....	55
2.4.2.4	Caseta de Dosificación de Sulfato de Aluminio.....	56
2.4.2.5	Floculador .....	56
2.4.2.6	Sedimentador .....	57
2.4.2.7	Filtros.....	58
2.4.2.8	Desinfección .....	59
2.4.2.9	Tanques de Almacenamiento y Distribución.....	59
2.4.3	Caracterización del agua .....	60
2.4.3.1	Parámetros fuera de norma .....	65
2.4.3.2	Prueba de Tratabilidad .....	65
2.4.3.2.1	Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio .....	66
2.4.3.2.2	Pruebas de Jarras con Policloruro de Aluminio .....	66

### **CAPITULO III**

3	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS.....</b>	68
3.1	Cálculos de Ingeniería.....	68
3.1.1	Población diseño.....	68
3.1.1.1	Nivel de complejidad del sistema.....	69
3.1.1.2	Dotación Neta .....	69
3.1.1.3	Dotación Bruta .....	70
3.1.1.4	Caudal Medio Diario.....	71
3.1.1.5	Caudal Máximo Diario .....	71
3.1.1.6	Caudal de captación .....	72
3.1.2	Vertedero rectangular (Mezcla rápida) .....	72
3.1.2.1	Canal del vertedero.....	72

3.1.2.2	Ancho del vertedero .....	73
3.1.2.3	Caudal por unidad de ancho .....	74
3.1.2.4	Profundidad Crítica del flujo .....	74
3.1.2.5	Longitud de salto .....	74
3.1.2.6	Profundidad supercrítica .....	75
3.1.2.7	Velocidad del agua en el salto .....	76
3.1.2.8	Número de Froude .....	76
3.1.2.9	Profundidad Subcrítica .....	77
3.1.2.10	Velocidad del agua en el resalto .....	77
3.1.2.11	Pérdida de energía en el resalto .....	77
3.1.2.12	Longitud de resalto, para resalto estable .....	78
3.1.2.13	Velocidad media en el resalto .....	78
3.1.2.14	Tiempo de mezcla .....	79
3.1.2.15	Gradiente de velocidad .....	79
3.1.3	Determinación del Agente Coagulante .....	80
3.1.3.1	Calculo de la cantidad requerida de PAC en Época Invernal .....	80
3.1.3.1.1	Caudal de Dosificación de PAC .....	81
3.1.3.1.2	Dosificación de PAC .....	81
3.1.3.2	Calculo de los Costos de Operación con PAC .....	81
3.1.3.2.1	Calculo de los costos de operación para época invernal .....	81
3.1.3.3	Porcentaje de Remoción .....	82
3.1.3.3.1	Color .....	82
3.1.3.3.2	Turbiedad .....	82
3.1.3.3.3	Nitritos .....	83
3.1.3.3.4	Fosfatos .....	83
3.2	Resultados .....	83
3.2.1	Resultados de la caracterización del agua .....	83
3.2.2	Resultados micrológicos .....	84
3.2.3	Resultados de los Procesos de Potabilización .....	85
3.2.3.1	Vertedero Rectangular .....	86
3.2.4	Resultados Dosificación Agentes Coagulantes .....	86
3.2.5	Resultados de la caracterización del agua tratada (Pruebas de Jarras) .....	87
3.2.6	Porcentaje de Rendimiento .....	88
3.3	Presupuesto de Optimización de la Planta de potabilización de agua .....	89
3.4	Presupuesto General .....	91
3.4.1	Presupuesto de la optimización de la planta de potabilización .....	91
3.4.2	Costos de operación .....	91

3.4.2.1	Costos de operación al día.....	91
3.4.2.2	Comparación entre Sulfato Aluminio y Policloruro de Aluminio .....	92
3.5	Propuesta de uso de PAC y su influencia en el consumo eléctrico .....	93
3.6	Análisis y Discusión .....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		95
CONCLUSIONES.....		95
RECOMENDACIONES.....		96
BIBLIOGRAFÍA.....		97
ANEXOS.....		99

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

B	Ancho del vertedero
Cv	Profundidad del canal del vertedero
Fs	Factor de seguridad
F	Numero de Froude
g	Aceleración de la gravedad
G	Gradiente de velocidad
H	Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua
Hp	Pérdida de energía en el resalto
$h_1$	Profundidad supercrítica
$h_2$	Profundidad Subcrítica
$K_1$	Coefficiente de Consumo máximo diario
Lj	Longitud de resalto
$L_m$	Longitud de salto
L/d	Litros por día
L/hab*día	Litros por habitante por día
L/s	Litros por segundo
M	Metros
min	Minutos
ml	Mililitros
mg/L	Miligramos por litro
N	Tiempo de diseño
NTE	Norma técnica Ecuatoriana
UNT	unidades de turbidez nefelométrica
P	Altura de la pared del vertedero
$P_a$	Población actual
PAC	Policloruro de Aluminio
$P_f$	Población futura
q	Caudal por unidad d ancho
Q	Caudal d diseño
Qd	Caudal de dosificación
$Q_{md}$	Caudal medio diario
$Q_{Md}$	Caudal máximo diario
R	tasa de crecimiento poblacional anual

$S$	Segundos
$T$	Tiempo de mezcla o retención
$V_1$	Velocidad del agua en el salto
$V_2$	Velocidad del agua el resalto
$d_m$	Velocidad media en el resalto
$X$	Dosificación del agente coagulante
$\mu$	Viscosidad Dinámica del agua
$\gamma$	Peso específico del agua

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pp.</b>
Figura 1- 1	Química de la Coagulación ..... 20
Figura 1- 2	Zonas de un Sedimentador .....26
Figura 1- 3	Filtros de la Planta de Tratamiento por dentro ..... 28
Figura 1- 4	Configuración del Resalto en un Vertedero Rectangular ..... 36
Figura 2- 1	Técnicas de Muestreo..... 48
Figura 2- 2	Estado actual de la planta..... 54
Figura 2- 3	Tanque de Entrada..... 55
Figura 2- 4	Caseta de Dosificación de Sulfato de Aluminio ..... 56
Figura 2- 5	Floculador Hidráulico ..... 57
Figura 2- 6	Sedimentador..... 58
Figura 2- 7	Filtros de arena..... 58
Figura 2- 8	Caseta de desinfección con cloro gas..... 59
Figura 2- 9	Tanques de Almacenamiento y Distribución.....60

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pp.</b>
Tabla 1- 1	Calidad microbiológica del agua .....17
Tabla 1- 2	Tipos de Filtros .....27
Tabla 1- 3	Nivel de complejidad del sistema en función de la población ..... 33
Tabla 1- 4	Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema ..... 33
Tabla 1- 5	Porcentajes de pérdidas técnicas ..... 34
Tabla 1- 6	Coeficiente de consumo máximo diario $K_1$ ..... 36
Tabla 1- 7	Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta ..... 36
Tabla 2- 1	Recolección de muestras ..... 46
Tabla 2- 2	Parámetros de Caracterización del Agua Potable ..... 49
Tabla 2- 3	Equipos, materiales y reactivos ..... 50
Tabla 2- 4	Métodos de análisis del agua .....51
Tabla 2- 5	Medida del caudal ..... 53
Tabla 2- 6	Caracterización físico-químicos y microbiológicos del agua cruda (época invierno)..... 61
Tabla 2- 7	Caracterización físico-químicos y microbiológicos del agua tratada (época invierno)..... 62
Tabla 2- 8	Caracterización físico-químicos y microbiológicos del agua cruda (época verano) ..... 63
Tabla 2- 9	caracterización físico-químicos y microbiológicos del agua tratada (época verano)..... 64
Tabla 2- 10	Parámetros fuera de la norma de la caracterización del agua cruda (época invierno) ..... 65
Tabla 2- 11	Parámetros fuera de la norma de la caracterización del agua tratada (época invierno)..... 65
Tabla 2- 12	Pruebas de Jarras con Sulfato de Aluminio al 1% (Primer Ensayo) .....66
Tabla 2- 13	Pruebas de Jarras con Sulfato de Aluminio al 1% ( Segundo Ensayo) ..... 66
Tabla 2- 14	Pruebas de Jarras con Policloruro de Aluminio al 1% (Primer Ensayo) ..... 66
Tabla 2- 15	Pruebas de Jarras con Policloruro de Aluminio al 1% (Segundo Ensayo) ..... 67
Tabla 3- 1	Proyección de la poblacion futura ..... 68

Tabla 3- 2	Resultados de los analisis fisico – quimico del agua de entrada, de salida y tratada (pruebas de jarras) .....	83
Tabla 3- 3	Resultados de los analisis microbiologicos del agua de entrada, de salida y tratada (pruebas de jarras) .....	85
Tabla 3- 4	Resultados de la proyección Futura 2030 .....	86
Tabla 3- 5	Resultados del diseño del Mezclador rápido en vertedero rectangulares .....	86
Tabla 3- 6	Resultados de la dosificación del Agente coagulante .....	87
Tabla 3- 7	Resultados de la caracterización del agua tratada (pruebas de jarras) .....	87
Tabla 3- 8	Resultados de la remoción .....	88
Tabla 3- 9	Presupuesto General .....	91
Tabla 3- 10	Costos de operación para PAC época invernal .....	91
Tabla 3- 11	Comparación de costos de operación entre Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio.....	92
Tabla 3- 12	Ahorro del tratamiento entre Sulfato de Aluminio y PAC .....	92
Tabla 3- 13	Propuesta de consumo eléctrico anual para el uso de PAC .....	93



## ÍNDICE DE GRAFICOS

	Pp.
Gráfica 3- 1	Comparación de los resultados de los análisis físico- químico del
	agua entrada, salida y tratada (Prueba de jarras) ..... 84
Gráfica 3- 2	Comparación de los resultados de los análisis microbiológicos del
	agua entrada, salida y tratada (Prueba de jarras) ..... 85
Gráfica 3- 3	Porcentaje de Remoción ..... 89

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>Pp.</b>
Ecuación 1- 1	Población futura ..... 32
Ecuación 1- 2	Dotación Bruta ..... 34
Ecuación 1- 3	Caudal Medio Diario..... 35
Ecuación 1- 4	Caudal máximo diario..... 35
Ecuación 1- 5	Caudal de captación ..... 36
Ecuación 1- 6	Canal del Vertedero ..... 37
Ecuación 1- 7	Ancho del Vertedero ..... 37
Ecuación 1- 8	Caudal por unidad de ancho..... 38
Ecuación 1- 9	Profundidad Crítica del flujo..... 38
Ecuación 1- 10	Longitud de salto..... 39
Ecuación 1- 11	Profundidad Supercrítica o altura del agua después del salto. .... 39
Ecuación 1- 12	Velocidad del agua en el salto..... 40
Ecuación 1- 13	Número de Froude ..... 40
Ecuación 1- 14	Profundidad subcrítica o altura del agua después del resalto..... 41
Ecuación 1- 15	Velocidad del agua en el resalto ..... 41
Ecuación 1- 16	Pérdida de energía en el resalto..... 42
Ecuación 1- 17	Longitud del resalto ..... 42
Ecuación 1- 18	Velocidad media en el resalto ..... 43
Ecuación 1- 19	Tiempo de mezcla o retención ..... 43
Ecuación 1- 20	Gradiente de velocidad ..... 44
Ecuación 3- 1	Cálculo de la Cantidad Requerida de PAC ..... 80
Ecuación 3- 2	Caudal de Dosificación PAC ..... 81

## ÍNDICE DE ANEXO

ANEXO I	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE REQUISITO
ANEXO II	FICHA TÉCNICA CLORO GAS
ANEXO III	FICHA TÉCNICA DE POLICLORURO DE ALUMINIO
ANEXO IV	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO PRIMERA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA INVIERNO
ANEXO V	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO SEGUNDA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA INVIERNO
ANEXO VI	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO TERCERA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA VERANO
ANEXO VII	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO CUARTA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA VERANO
ANEXO VIII	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS PRIMERA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA INVIERNO
ANEXO IX	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS TERCERA Y CUARTA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA VERANO
ANEXO X	PRUEBAS DE JARRAS
ANEXO XI	PLANTA DE TRATAMIENTO
ANEXO XII	COTIZACIÓN BOMBA DOSIFICADORA AUTOMÁTICA
ANEXO XIII	COTIZACIÓN PAC

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó la Optimización del Sistema de Tratamiento de Agua Potable en la planta de San Vicente Alto, perteneciente a la Ciudad de Echeandía, Provincia Bolívar. Con el método deductivo e inductivo: se diagnosticó los problemas ocasionados en la calidad del agua, y con el método experimental se procedió a realizar la caracterización físico-químicos y microbiológicos del agua a la entrada y salida de la planta de tratamiento en diferentes condiciones climáticas, en el laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, luego de la caracterización del agua se determinaron los parámetros fuera de los límites permisibles de acuerdo a la Norma INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”, siendo color, turbiedad, nitritos y fosfatos específicamente en época de lluvia, para la remoción de éstos parámetros se procedió a realizar pruebas de tratabilidad con Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio, llegando a encontrar la dosificación adecuada de 21,34 kg por día con el Policloruro de Aluminio al 1% fin de estabilizar el pH y la turbiedad del agua. Una vez diseñado el mezclador rápido en vertedero rectangular con un ancho de 0,40 m, una altura de 1 m, un largo de 2,08 m. Con la implementación del vertedero rectangular los porcentajes de eficiencia de remoción de los parámetros fuera de norma al realizar las pruebas de jarras al agua tratada son: color= 93,10%, turbiedad= 98,08%, nitritos= 100% y fosfatos= 94,41%. Se recomienda a la Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Echeandía la aplicación del estudio realizado para mejorar la eficiencia de la planta actual, a fin de brindar agua potable apta para el consumo de los habitantes.

**PALABRAS CLAVE:** <SISTEMA DE POTABILIZACIÓN> <NORMA TÉCNICA ECUATORIANA> <PARÁMETROS DE CALIDAD> <DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE> <AGUA POTABLE> <ECHEANDÍA (CIUDAD)> <PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS> <PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS>

## SUMMARY

This research work is entitled Optimization of the Potable Water Treatment System in the Factory of San Vicente Alto, in the city of Echeandía, in the province Bolivar. Problems generated by water quality were diagnosed by the means of the inductive and deductive method. Physical-chemical and microbiological characterization of water input and output from the treatment Factory in different weather conditions were performed in the technical analysis lab in the Faculty of Sciences of ESPOCH. After water characterization, parameters over permissible limits according to Norm INEN 1108: 2011 “Potable Water. Requirissites” were determined such as: color, turbid, nitrites and phosphate specifically in rainy season. To remover these parameter, treatment test with aluminum sulfate and aluminum polichloride were carried out, so the appropriate dose was found, 21,34 kg per day with aluminum polichloride at 1% to stabilize the pH and water turbid. A fast mixer was designed in rectangular overflow with a width of 0,40 m, and height of 1 m, a lengthy of 2,08 m. The implementation of the rectangular overflow generated the removing efficiency percentages over norm at preforming the test of treated water pitcher such as: color= 93, 10%; turbid=98,08%; nitrites=100%, and phosphates=94,41% . It is recommended to the rectangular and Pipe Water Service Company of Echeandía to apply this study in order to improve efficiency of the current Factory and give potable water to human consume

**KEY WORDS:** < PURIFY WATER SYSTEM > < ECUADORIAN TECHNICAL NORM >  
< QUALITY PARAMETERS > < COAGULANT DOSAGE > < POTABLE WATER >  
< ECHEANDÍA (CIUDAD) > < PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERS >  
< MICROBIOLOGICAL PARAMETERS >

## INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Echeandía, se encuentra ubicada al noroccidente de la Provincia Bolívar, a 65 km. de la capital provincial, a una altitud entre 370 a 830 m.s.n.m. La ciudad comprende la cabecera cantonal, que consta con una población de 8500 habitantes aproximadamente en la parte urbana y no posee parroquias rurales, además cuenta con una extensión de 230,6 km<sup>2</sup>.

La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población. Son factores de riesgo los agentes infecciosos, los productos químicos tóxicos y la contaminación radiológica. La experiencia pone de manifiesto el valor de los enfoques de gestión preventivos que abarcan desde tratamientos simples hasta tratamientos más complejos de agua potable.

El agua se considera un recurso indispensable para la vida humana es por eso que debe ser de óptima calidad, el suministro debe ser seguro para uso comercial, doméstico e industrial. En la actualidad la contaminación del líquido es uno de los problemas más relevantes con falta de solución, es por esta razón que las entidades públicas y privadas buscan satisfacer esta necesidad garantizando la salud de la población.

La Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Echeandía (CAPAE), interesado en mejorar la calidad del agua que se distribuye a la población permitió realizar esta investigación en la Planta de San Vicente Alto, para de esta manera mejorar el Sistema de Tratamiento.

El sistema de abastecimiento de agua de la población de Echeandía es alimentado por el estero Charquiyacu, el tratamiento del agua existente está constituido por capitación, tanque de ingreso, caseta de dosificación de sulfato de Aluminio, floculador, sedimentador, filtros y por la desinfección con cloro gas.

La Optimización del sistema de tratamiento de agua potable pretende implementar medidas de mejora para realizar un óptimo proceso en conjunto del tratamiento de agua que llega a la planta, para lo cual se hicieron caracterizaciones que determinan que la turbidez, el color, los nitritos y los fosfatos se encuentran fuera de la norma en época de invierno, mediante prueba de jarras se determinó la dosis óptima de PAC, lo cual ayudará a sedimentar los sólidos totales

disueltos mejorando la eficiencia de los sedimentadores y por ende del proceso de tratamiento en sí, garantizando de esta manera la distribución de agua de mejor calidad a la población de la ciudad de Echeandía cumpliendo con los requisitos que establece la norma NTE INEN 1 108:2011.

## **ANTECEDENTES**

Siendo el agua uno de los recursos más necesario para la subsistencia del ser humano, y consciente de la importancia de la inocuidad del mismo, la Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Echeandía siendo los encargados de proporcionar a la población el servicio básico de agua potable de manera eficaz y responsable, de esta manera garantizando el bienestar de toda la ciudad, mejorando su calidad y estándares de vida, la misma que se encuentra a cargo del Ing. Milton Alarcón, Gerente de la CAPAE.

La Planta de Tratamiento se abastece del líquido vital del recinto Charqui yacú, perteneciente a la ciudad de Echeandía proveniente del estero que lleva su mismo nombre, por medio de tuberías PVC, llegando así hasta la planta de tratamiento de agua potable ubicado en San Vicente Alto.

El Sistema de Tratamiento de Agua de la ciudad de Echeandía consta de cuatro etapas; la primera es la etapa de captación del agua donde se realiza un tratamiento previo al agua y se eliminara materia orgánica de gran tamaño, la siguiente etapa es la de la floculación donde se emplean coagulantes cuya función es desestabilizar eléctricamente los coloides, la tercera etapa va al sedimentador donde remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad, la cuarta etapa es la filtración donde se encuentra arena gruesa y arena fina, y la última etapa es la de cloración o desinfección.

Terminando esta etapa el agua se la lleva a tanques de almacenamiento y posteriormente a la distribución de la ciudad.



## **JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad el gobierno del Ecuador presenta el Plan de Manejo del Buen Vivir, donde se pone hincapié especial en el agua potable, es decir el Gobierno desea que cada uno de los pobladores tenga agua limpia y de calidad, para esto se ha establecido un rubro muy importante, para todas la personas y entidades que trabajen para mejorar el agua.

El agua es un recurso natural que posee un conjunto de propiedades y características que la vuelven única, por lo que es indispensable conservar este recurso no renovable dándole un tratamiento adecuado para cumplir con los requisitos físicos, químicos y bacteriológicos prescritos en la Norma para el Agua Potable NTE INEN 1 108:2011

Muchas de nuestras poblaciones se ven obligadas a beber agua de fuente cuya calidad deja mucho que desear y produce un sin número de enfermedades en niños y adultos; generalmente estas fuentes hídricas superficiales generan agua con diferentes tipos de impurezas y parámetros con valores fuera de norma, como es el caso de la Planta de Tratamiento de Agua de la ciudad de Echeandía – Provincia Bolívar.

Por lo tanto es necesario realizar el proceso de Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, ya que se procedió a cambiar de químico de Sulfato de Aluminio a Policloruro de Aluminio y determinar la dosificación adecuada del coagulante, garantizando de esta manera a los pobladores de la ciudad de Echeandía agua apta para el consumo humano que cumpla con los requisitos prescritos en la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108: 2011.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Optimizar el Sistema de Tratamiento de Agua Potable en la planta de la ciudad Echeandía – Provincia Bolívar.

### **ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar el estado actual del sistema de tratamiento de agua de la planta, a través de una visita de inspección in situ y entrevista.
- Realizar la caracterización físico-química y microbiológica del tratamiento actual de la planta.
- Identificar los parámetros que se encuentran fuera de la Norma NTE INEN correspondiente.
- Plantear alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta sustentado en el estudio técnico y económico.
- Validar el sistema de tratamiento propuesto.

# **CAPITULO I**

## **1 MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Agua**

El agua es un líquido incoloro, inodoro e insaboro, esencial para la vida animal y vegetal, solvente universal compuesto molarmente por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno. En la práctica llamamos agua a las soluciones y suspensiones acuosas de sustancias orgánicas e inorgánicas como las que constituyen la lluvia, el mar, los lagos y los ríos.

### **1.2 Agua cruda (Sin tratamiento)**

El agua cruda es aquella que no ha sido modificada de su estado natural (características físicas, químicas y microbiológicas).

### **1.3 Agua tratada (Agua potable)**

El agua potable es el agua proveniente de manantiales naturales, pozos u otras fuentes que son previamente tratadas para alcanzar una uniformidad clara, exenta de turbiedad y color; fresca y agradable al paladar, sin gérmenes patógenos y con concentraciones de iones que no sobrepasen los valores máximos fijados en las normas de calidad.

## **1.4 Importancia del agua**

La importancia del agua potable radica en que sin ella la población no puede llevar una vida sana y productiva. El agua es una necesidad básica de los seres humanos, una persona requiere al menos de 20 a 50 litros de agua potable diario que sea limpia, y confiable para beber, para cocinar y para la higiene diaria. El agua constituye fuente de vida pero paradójicamente también es un vehículo de transmisión de enfermedades mortales entre las más importantes están: disentería, cólera, tifoidea y parasitosis intestinales.

## **1.5 Ciclo hidrológico**

Las aguas naturales forman parte de un ciclo continuo. La humedad que se evapora de los océanos y otras superficies de agua es precipitada a su vez en forma de lluvia, nieve y granizo. Parte de esta precipitación regresa a las superficies de agua y parte cae sobre la tierra. De esta última, una parte es empleada por la vegetación, algo se evapora, otra parte corre hacia los océanos por conducto de corrientes de agua y lagos y el resto penetra en la tierra. El almacenamiento de agua para suministro se realiza mediante la intercepción de corrientes de superficie o por la captación del agua que se ha infiltrado en la tierra.

Las condiciones hidrológicas relacionadas con la lluvia, con las corrientes de agua y con la infiltración, son factores de mucha importancia en la formación de depósitos de aguas de abastecimiento y en la purificación de estas aguas. Las variaciones de estos factores afectan no solo la cantidad de agua aprovechable, sino también su calidad.

Para la comodidad, las fuentes aprovechables de agua en el ciclo hidrológico pueden clasificarse como sigue:

### **1. Lluvia y nieve**

### **2. Agua de superficie**

- a) Corrientes de aguas
- b) Lagunas y lagos naturales
- c) Embalses

### **3. Aguas subterráneas**

- a) Manantiales
- b) Pozos poco profundos y galerías de infiltración

- c) Pozos profundos.

## **1.6 Clasificación de los cuerpos de agua**

Todos los cuerpos de agua están interconectados, desde la atmosfera hasta los océanos a través del ciclo hidrológico.

### **1.6.1 Lluvia**

El vapor de agua condensado en nubes o precipitado en forma de lluvia es prácticamente puro en altitudes muy grandes. A medida q cae la lluvia absorbe oxígeno, dióxido de carbono y otros gases del aire, así como polvo, humos y vapores. La lluvia recoge también las bacterias y las esporas vegetales que se encuentran en el aire.

En general, la cantidad de esas impurezas es pequeña; mayor al principio de la precipitación y menor al final.

### **1.6.2 Agua de superficie.**

Cuando la lluvia cae sobre la tierra, una parte corre al océano, a las corrientes de agua, lagunas o lagos. La calidad del agua tomada de una fuente de superficie depende del carácter y área de la cuenca, de su geología y topografía, de la extensión y naturaleza del desarrollo realizado por el hombre, de la época del año y de las condiciones del tiempo.

### **1.6.3 Ríos.**

Estos cuerpos de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje.

#### **1.6.4 Lagos.**

En estos sistemas acuáticos, la velocidad promedio es relativamente baja: varía entre 0,01 y 0,001 m/s (valores en la superficie). Este hecho hace que el agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta varios años. Con respecto a la calidad del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los periodos de estratificación.

#### **1.6.5 Agua subterránea.**

Parte de la lluvia que cae sobre la superficie de la tierra se filtra en el suelo y se torna en agua subterránea. Durante su paso a través del suelo, el agua entra en contacto con muchas sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas.

Aunque las bacterias y otros organismos vivientes en la superficie de la tierra pueden ser recogidos primero por la lluvia que cae sobre ellos, la filtración en el subsuelo da por resultado la separación de estos organismos. Hay una excepción cuando cerca de la superficie las rocas están agrietadas, como ocurre con la piedra caliza. En este caso, la contaminación de superficie puede ser llevada a grandes distancias sin variación importante.

Existe otro tipo de cuerpos de agua de carácter transitorio que están caracterizados por su variabilidad hidrodinámica. Entre ellos, los más importantes son:

- Embalses. Se pueden considerar cuerpos de agua intermedios entre lagos y ríos y se caracterizan porque su hidrodinámica y calidad de agua dependen de las reglas de operación.
- Ciénagas. Son ecosistemas considerados cuerpos de agua intermedios entre lago y un acuífero freático.
- Estuarios. Son sistemas acuáticos intermedios entre río y mar.

### **1.7 Fuentes de contaminación del agua**

La contaminación es una de las principales variantes en la calidad del agua. En mayor porcentaje es consecuencia de la actividad del ser humano y en menor rango son producidas por fenómenos naturales como la erosión que provoca el arrastre de sedimentos que modifica la calidad del agua.

## **1.8 Calidad del agua**

La calidad de agua depende de tres parámetros principales: hidrología, características físico-químicas y bacteriológicas. Para establecer si el agua es apta o no para el consumo humano, el agua debe cumplir ciertos parámetros de potabilidad, llamadas Normas de Calidad del agua, dicha norma establece que el agua de consumo humano debe ser clara, libre de organismos patógenos y exentos de minerales que produzcan efectos indeseables tanto biológicos como fisiológicos sobre el ser humano.

### **1.8.1 Características Físicas del Agua**

Son aquellas que impresionan a los sentidos como: el gusto, la vista y el olfato, e inciden directamente sobre la estética del agua. Entre ellas podemos destacar:

#### **1.8.1.1 *Turbidez***

La turbidez o turbiedad es una expresión de la propiedad de o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en una agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersos coloidales hasta partículas gruesa, entre otros arcillas, limo, materia orgánica, e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos.

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbiedad nefelométrica (UTN). Con este método se compara la intensidad de la luz dispersa por la muestra con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia en la misma condición de medida. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersa, mayor será la turbiedad.

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano. Los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la

efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

#### 1.8.1.2 *Color*

Idóneamente, el agua de consumo no debe tener ningún color apreciable. Generalmente, el color en el agua de consumo se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo. Asimismo, la presencia de hierro y otros metales, bien como impurezas naturales o como resultado de la corrosión, también tiene una gran influencia en el color del agua. También puede proceder de la contaminación de la fuente de agua con vertidos industriales y puede ser el primer indicio de una situación peligrosa. Si el agua de un sistema de abastecimiento tiene color, se debe investigar su origen, sobre todo si se ha producido un cambio sustancial.

Esta característica del agua se mide al comparar la muestra con soluciones estándar de color o discos de vidrio coloreado, una unidad de color es equivalente al color producido por 1 miligramo de platino en forma de ión cloro platino en un litro de agua destilada.

El color depende del pH, es por eso que se debe medir estos dos parámetros juntos. Antes de medir el color en el agua se debe eliminar la turbidez mediante centrifugación.

El color se puede remover del agua mediante coagulación y floculación, sedimentación y filtración.

#### 1.8.1.3 *Olor y Sabor*

Los olores y sabores en el agua con frecuencia ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causales de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran la materia orgánica en solución, H<sub>2</sub>S, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc.

La determinación del olor y sabor en el agua es útil para evaluar la calidad y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación. Tanto el olor como el sabor pueden describirse cualitativamente, lo cual es muy útil en especial en casos de reclamos por parte del



consumidor, en general los olores son más fuertes a altas temperaturas. El ensayo del sabor debe hacerse con muestras seguras para consumo humano.

#### 1.8.1.4 *Temperatura*

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de OD, la actividad biológica, y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura.

Para obtener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y efectuar la lectura después de un lapso suficiente que permita la estabilización del nivel del mercurio. Como el mercurio es venenoso, hay que prevenir cualquier posible rotura del termómetro en agua utilizada para consumo.

#### 1.8.1.5 *Conductividad*

Es un dato numérico de la habilidad que posee el agua para transportar un flujo de corriente eléctrica. Su valor depende de la temperatura a la cual es examinada y de la concentración de sustancias disueltas ionizadas en el agua. La conductividad es fácil de medir a través un instrumento comercial, sus unidades son  $\mu\text{mho/cm}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ , este instrumento solo posee un error menor al 1% por lo que es ampliamente utilizado.

#### 1.8.1.6 *pH*

El pH permite diagnosticar la funcionalidad del agua y los tratamientos adecuados, para aguas de consumo el pH deben estar entre 6,5 y 9 para evitar incrustaciones, corrosidad y sabor amargo en caso de pH superior a 9.

#### 1.8.1.7 *Sólidos.*

Para dar un diagnostico acerca de la calidad del agua, es necesario determinar la cantidad de material solido que contiene la muestra. El primer tipo de solidos de importancia para determinar la calidad del agua son los *sólidos totales* (ST). Los ST se definen como todo el

material que queda después de evaporar el agua a 105°C, es decir, ST es todo aquello presente en la muestra, excepto agua.

Los *sólidos sedimentables* se definen como el material que se sedimenta en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en ml / L.

Los sólidos totales se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos. La cantidad y naturaleza de los sólidos presentes en el agua varía ampliamente. En el agua la mayoría de los sólidos se hayan disueltos (SD) y consisten principalmente en sales y gases.

Los *sólidos disueltos* se calculan pasando la muestra por un papel de filtro y luego determinando los sólidos totales del filtrado. Si se somete la muestra filtrada a evaporación en una mufla a aproximadamente 600°C y se pesa el residuo se obtienen los sólidos disueltos fijos (SDF). Por diferencia se determinan los sólidos disueltos volátiles (SDV).

Los *sólidos suspendidos* (SS) se determinan restando los sólidos disueltos de los sólidos totales. Los SS son, tal vez, el tipo de sólidos más importantes de determinar en los estudios de calidad del agua en nuestro medio, principalmente porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.

### **1.8.2 Características Químicas**

El agua por ser el solvente universal puede poseer cualquier elemento de la tabla periódica, entre los elementos más importantes que determinan la calidad del agua están:

#### **1.8.2.1 Alcalinidad**

Presencia en el agua de iones, que pueden reaccionar con ácidos, neutralizándolos. Se deben a bases fuertes que llegan a las aguas naturales por contaminación por desechos industriales. Y se mide en mg/l.

### 1.8.2.2 *Fosfatos*

La concentración de fosfatos en un agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Este elemento suele ser el factor limitante en los ecosistemas para el crecimiento de los vegetales, y un gran aumento de su concentración puede provocar la eutrofización de las aguas. Así, Los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de ríos, pero especialmente de lagos y embalses. En lo referente a las aguas de consumo humano, un contenido elevado modifica las características organolépticas y dificulta la floculación - coagulación en las plantas de tratamiento.

Tan sólo 1 gramo de fosfato-fósforo ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) provoca el crecimiento de hasta 100 gramos de algas. Si el crecimiento de algas es excesivo, cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición pueden dar como resultado una alta demanda de oxígeno, agotando el oxígeno presente en el agua.

Los fosfatos existen en forma disuelta, coloidal o sólida. Antes de realizar un análisis, por tanto, es importante considerar qué tipo de fosfatos deberán determinarse.

Finalmente, el tratamiento biológico del agua mediante la eliminación de fosfatos se realiza con el uso de una bacteria aeróbica, esto es oxígeno dependiente, si la concentración de los fosfatos es elevada, pero si esta concentración es baja se pueden eliminar con lavados frecuentes de las instalaciones con cloro el mismo que actuará sobre los microorganismos (bacterias, algas, plancton) que pueden desarrollarse sobre las superficies.

### 1.8.2.3 *Aluminio*

Las fuentes más comunes de aluminio en el agua de consumo son el aluminio de origen natural y las sales de aluminio utilizadas como coagulantes en el tratamiento del agua. La presencia de aluminio en concentraciones mayores que 0,1–0,2 mg/l suele ocasionar quejas de los consumidores como consecuencia de la precipitación del flóculo de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y el aumento de la coloración del agua por el hierro. Por lo tanto, es importante optimizar los procesos de tratamiento con el fin de reducir al mínimo la presencia de residuos de aluminio en el sistema de abastecimiento. En buenas condiciones de funcionamiento, pueden alcanzarse, en muchas circunstancias, concentraciones de aluminio menores que 0,1 mg/l.

#### 1.8.2.4 *Amoníaco*

La concentración correspondiente al umbral olfativo del amoníaco a pH alcalino es de aproximadamente 1,5 mg/l, y se ha sugerido un umbral gustativo de 35 mg/l para el catión amonio. Estas concentraciones de amoníaco no tienen repercusión directa sobre la salud y no se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud.

#### 1.8.2.5 *Cloruro*

Las altas concentraciones de cloruro confieren un sabor salado al agua y las bebidas. Hay diversos umbrales gustativos para el anión cloruro en función del catión asociado: los correspondientes al cloruro sódico, potásico y cálcico están en el intervalo de 200 a 300 mg/l. A concentraciones superiores a 250 mg/l es cada vez más probable que los consumidores detecten el sabor del cloruro, pero algunos consumidores pueden acostumbrarse al sabor que produce en concentraciones bajas.

#### 1.8.2.6 *Cloro*

La mayoría de las personas pueden detectar, mediante el olfato o el gusto, la presencia en el agua de consumo de concentraciones de cloro bastante menores que 5 mg/l, y algunas incluso pueden detectar hasta 0,3 mg/l. Si la concentración de cloro libre residual alcanza valores de 0,6 a 1,0 mg/l, aumenta la probabilidad de que algunos consumidores encuentren desagradable el sabor del agua.

#### 1.8.2.7 *Dureza*

La dureza del agua, derivada de la presencia de calcio y magnesio, generalmente se pone de manifiesto por la precipitación de restos de jabón y la necesidad de utilizar más jabón para conseguir la limpieza deseada. La aceptabilidad por la población del grado de dureza del agua puede variar en gran medida de una comunidad a otra, en función de las condiciones locales.

El agua con una dureza mayor que aproximadamente 200 mg/l, en función de la interacción de otros factores, como el pH y la alcalinidad, puede provocar la formación de incrustaciones en las instalaciones de tratamiento, el sistema de distribución, y las tuberías y depósitos de los edificios.

Otra consecuencia será el consumo excesivo de jabón y la consiguiente formación de restos insolubles de jabón. Las aguas duras, al calentarlas, forman precipitados de carbonato cálcico. Por otra parte, las aguas blandas, con una dureza menor que 100 mg/l, pueden tener una capacidad de amortiguación del pH baja y ser, por tanto, más corrosivas para las tuberías.

#### 1.8.2.8 *Hierro*

En las aguas subterráneas anaerobias puede haber concentraciones de hierro ferroso de hasta varios miligramos por litro sin que se manifieste alteración alguna del color ni turbidez al bombearla directamente desde un pozo. Sin embargo, al entrar en contacto con la atmósfera, el hierro ferroso se oxida a férrico, tiñendo el agua de un color marrón rojizo no deseable.

El hierro también potencia la proliferación de bacterias ferruginosas, que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico y que, en su actividad, depositan una capa viscosa en las tuberías.

En niveles por encima de 0,3 mg/l, el hierro mancha la ropa lavada y los accesorios de fontanería. Por lo general, no se aprecia ningún sabor en aguas con concentraciones de hierro menores que 0,3 mg/l, aunque pueden aparecer turbidez y coloración.

#### 1.8.2.9 *Manganeso*

La presencia de manganeso a concentraciones mayores que 0,1 mg/l en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable en bebidas y mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. Al igual que sucede con el hierro, la presencia de manganeso en el agua de consumo puede dar lugar a la acumulación de depósitos en el sistema de distribución.

Las concentraciones menores que 0,1 mg/l suelen ser aceptables para los consumidores. Incluso en una concentración de 0,2 mg/l, el manganeso formará con frecuencia una capa en las tuberías, que puede desprenderse en forma de precipitado negro.

#### 1.8.2.10 *Sulfato*

Los sulfatos tienen efectos sobre el sabor, mal olor y disminuye el pH, aumentando su poder corrosivo, son laxantes simultáneamente con el manganeso y el sodio. Si además hay presencia

de calcio o magnesio, los sulfatos reaccionan con pestos formando incrustaciones duras en tuberías y artefactos.

#### 1.8.2.11 *Nitratos*

Un contenido de nitrato mayor de 10 mg/L, puede ocasionar enfermedades, los nitritos tienen una toxicidad mayor que afecta al hombre.

### 1.8.3 Características Microbiológicas

Los Coliformes son bacterias que afectan la calidad biológica del agua y se originan de la contaminación fecal del agua debido al vertimiento de los desagües sin ningún tratamiento, defecación a campo abierto, y el arrastre de residuos fecales de corrales de animales. Los coliformes se clasifican en:

#### ✓ *Coliformes totales*

Los coliformes totales no son producto de la contaminación fecal, estos se originan de manera natural en el ambiente y son un indicador de la calidad del proceso de tratamiento, conducción y distribución del agua.

#### ✓ *Coliformes termotolerantes*

Las aguas que presentan coliformes termotolerantes indican que posee contaminación fecal.

**Tabla 1- 1 Calidad microbiológica del agua**

CALIDAD DE AGUA	NÚMERO DE GÉRMENES/ML
Excesivamente pura	0 a 10
Muy pura	10 a 100
Pura	100 a 1000
Medianamente pura	1000 a 10000
Impura	10000 a 100000
Muy Impura	Más de 1000000

Fuente: ROMERO J. 2006

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

## **1.9 Selección de los procesos del tratamiento del agua**

La selección del proceso de tratamiento del agua es una tarea complicada. Las circunstancias son diferentes para cada instalación del agua y quizás distintas para cada fuente o procedencia usada para la instalación.

La selección de uno o más procesos a utilizar en determinadas situación está influida por la necesidad de cumplir los objetivos de calidad reglamentaria, el deseo de la instalación y de sus clientes de cumplir los objetivos de calidad del agua como los de aspecto o estética y la necesidad de proporcionar el servicio del agua a bajo costo.

Los factores que deberían estar incluidos en las decisiones de los procesos de tratamiento del agua comprenden:

- Renovación de contaminantes.
- Calidad de la fuente original del agua.
- Fiabilidad.
- Condiciones existentes.
- Flexibilidad del proceso.
- Capacidades de la instalación.
- Costes.
- Compatibilidad ambiental.
- Calidad del sistema de distribución de agua.
- Realización del proceso a escala.

## **1.10 Proceso de Tratamiento del agua**

Las aguas superficiales cuentan con un sistema de abastecimiento formado principalmente por la fuente y su captación, transporte, tratamiento, almacenamiento y distribución.

### **1.10.1 Captación**

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques. El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento.

La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año (en verano el agua de nuestros ríos es más turbia que en invierno). La captación de aguas subterráneas se efectúa por medio de pozos de bombeo o perforaciones.

### **1.10.2 Aducción**

Al proceso de conducir el agua desde su captación hasta la planta de tratamiento se denomina aducción. Un sistema de aducción contiene tuberías, canales y los diferentes accesorios necesarios para el transporte del agua.

### **1.10.3 Mezcla rápida**

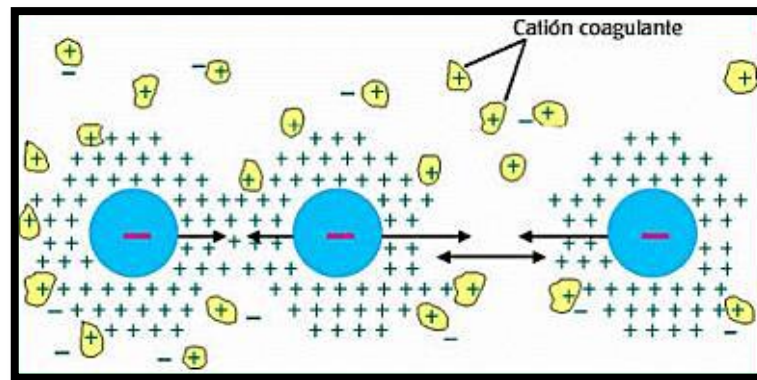
La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene el propósito de dispersar en forma rápida y uniforme el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia provocada por medios hidráulicos (mezclador rápido en línea – tubo Venturi, chorro químico y tanque de mezcla rápida) o mecánicos como son: resaltos hidráulicos en canales, canales Parshall, vertederos triangulares, vertederos rectangulares, etc.

### **1.10.4 Coagulación**

La coagulación se entiende como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los agentes coagulantes. Esta operación debe efectuarse en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua, en un tiempo mínimo.





**Figura 1- 1 Química de la Coagulación**

Fuente: RAMÍREZ, 2014

Las partículas que existen en el agua están en forma coloidal, y son generalmente negativas, al aplicar sales de aluminio o de hierro, por ejemplo sulfato de aluminio los cationes trivalentes del metal neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a los coloides dispersos en el agua y forman un hidróxido metálico floculento sólido que se denomina floc, éste se forma con facilidad y retira los contaminantes suspendidos y disueltos en el agua mediante mecanismos de neutralización de carga, adsorción y atrapamiento.

Posteriormente se retira el floc mediante procesos de separación de sólidos y líquidos como la sedimentación, filtración o una combinación de ambas.

La eficiencia de este proceso radica en la calidad del agua bruta, del coagulante o aditivos de coagulación utilizados y de factores operativos, como las condiciones de mezclado, la dosis de coagulación y el pH.

Para que el proceso de coagulación funcione eficazmente se debe seleccionar la dosis de coagulante y pH óptimos, esto se determina mediante las conocidas pruebas de jarras o jarrests.

### **Factores que intervienen en la Coagulación:**

Las siguientes variables se deben analizar para optimizar la coagulación, ya que su interrelación permite predecir la cantidad adecuada de coagulante a adicionar al agua.

- ✓ **Valencia:** Entre mayor sea la valencia del ion del agente coagulante, más efectivo resulta en el proceso.

- ✓ **Capacidad de cambio:** Es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.
- ✓ **Tamaño de las partículas:** Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.
- ✓ **Temperatura:** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.
- ✓ **pH:** Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.
- ✓ **Relación cantidad-tiempo:** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.
- ✓ **Alcalinidad:** La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación.
- ✓ **Influencia de las Sales Disueltas:** modifican el rango de pH óptimo, el tiempo requerido para la floculación, la cantidad de coagulantes requerido así como la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.
- ✓ **Influencia de la Dosis del Coagulante:** tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación:
  - A poca cantidad del coagulante, la formación de los microflóculos es muy escaso, con valores de turbiedad elevada.
  - Alta cantidad de coagulante se forma gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños de velocidades de sedimentación muy bajas, con turbiedad igualmente elevada.
  - La selección del coagulante influye sobre la buena o mala calidad del agua clarificada y el buen o mal funcionamiento de los decantadores principalmente.

✓ **Influencia de Mezcla:** el grado de agitación durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; a turbulencias desiguales se tendrán porciones de agua con mayor, menor o casi nada de coagulante. En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas.

- **Mezcla rápida:** primera etapa enérgica y de corta duración 60 s., máx. Donde se inyecta y dispersa el coagulante dentro del volumen del agua a tratar en una zona de fuerte turbulencia.
- **Mezcla lenta:** segunda etapa que desarrolla microflóculos, el tiempo de mezcla no excede de 15 min. Un tiempo excesivo puede originar una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación.

✓ **Turbiedad**

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante con la que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- La cantidad de coagulante es indistinto de una elevada o baja turbiedad ya que cuando la turbiedad aumenta no es necesario gran cantidad de coagulante debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
- Cuando la turbiedad es muy alta es conveniente realizar una pre sedimentación.

✓ **Sistema de Aplicación del Coagulante.**

- La dosis del coagulante se adiciona al agua en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida.
- El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable.

#### 1.10.4.1 *Agentes Coagulantes*

Son agentes químicos agregados al agua para facilitar el asentamiento de sustancias coloidales que se encuentran en suspensión. Las partículas que se unen aumentan de peso y decantan. Las partículas coloidales producen turbidez y color del agua, estas tienen gran poder de adsorción, adsorbiendo iones del medio y cargándose negativamente. La adición del coagulante neutraliza las cargas produciendo un colapso de la nube de iones que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.

Un buen rendimiento operacional depende de la selección de un determinado tipo de compuesto químico, entre los diferentes tipos de coagulantes usados en el tratamiento son:

##### **a) Sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ):**

Se obtiene de la reacción mineral de bauxita o arcillas ricas en óxidos de aluminio  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con ácido sulfúrico. Se conoce como alúmina o alumbre. Reacciona con la alcalinidad del agua y con los fosfatos. Fue el coagulante más utilizado aunque actualmente se ha eliminado debido a los problemas de operacionalidad y taponamientos de tuberías por la sedimentación de aluminio en el interior.

##### **b) Sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ):**

Se usa generalmente junto con la cal ( $\text{CaO}$ ) o junto con el cloro para llevar a cabo una coagulación efectiva. La reacción del  $\text{FeSO}_4$  con la cal hidratada se ve favorecida a pH altos.

##### **c) Sulfato férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ):**

Disponible comercialmente en forma granular, muy soluble en agua. Puede reaccionar con la alcalinidad del agua o con materiales alcalinos añadidos como la cal.

##### **d) Cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ):**

Está disponible en fase sólida y líquida. Se genera por la oxidación del sulfato ferroso con cloro. Tiene la ventaja de que la coagulación puede ser llevada bajo diferentes pH (entre 4, 8 y 11). Reacciona con la alcalinidad del agua y con los compuestos alcalinos añadidos.

#### **e) Policloruro de aluminio PAC:**

Siendo el más utilizados el Policloruro de aluminio PAC; cuando se adiciona se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos, reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio que son insolubles formando los precipitados.

Es el resultado de un proceso complejo y controlado de fabricación, comúnmente denominado Policloruro de aluminio, polihidroxiclورو de aluminio, cloruro de polialuminio, cloruro de aluminio polibásico, cloruro básico de aluminio, clorhidróxido de aluminio, oxiclورو de aluminio, entre otros.

#### **Presenta ciertas ventajas frente a los coagulantes comunes:**

- ✓ Mayor potencia de coagulación.
- ✓ Mayor velocidad de coagulación y floculación.
- ✓ Menor gasto de coagulantes especialmente de turbiedad alta.
- ✓ No importa el aluminio disuelto en agua.
- ✓ Se obtiene la menor turbiedad final del proceso.
- ✓ Menor consumo de álcalis.
- ✓ Es efectivo en un amplio rango de pH.
- ✓ Igual rendimiento a distintas temperaturas.
- ✓ Remoción de color.

#### **Dosis**

- a) Para uso en agua potable 30 mg/l máximo.
- b) Para uso en aguas residuales puede ser de 50-500 mg/l.
- c) Para uso en aguas aceitosas 500-2000 mg/l.

#### **Aplicación**

PAC líquido puede ser aplicado directamente o bien bombeando el producto diluido con agua limpia en una proporción de 10:1, usando una bomba de material anticorrosivo de desplazamiento positivo. Mejores resultados se obtienen provocando alta turbulencia para rápido mezclado por un corto tiempo después del punto de adición.

### **1.10.5 Floculación**

Se considera como la segunda fase de la coagulación, en este proceso se lleva a cabo una agitación de la masa coagulada para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados para que éstos aumenten su tamaño y peso y sedimenten con mayor facilidad.

De la misma manera que la coagulación, la floculación se ve influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y concentración del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos.

El tiempo que se dedica a la mezcla del coagulante debe ser relativamente corto y con velocidades altas, mientras que se espera una floculación satisfactoria con una reducción en la velocidad debido a que si se mantiene una velocidad alta los flóculos se desintegrarían y no se aglomerarían. Es imposible fijar velocidades para estas operaciones, puesto que para cada caso se debe tener en cuenta el tipo de flóculos y el tiempo de retención.

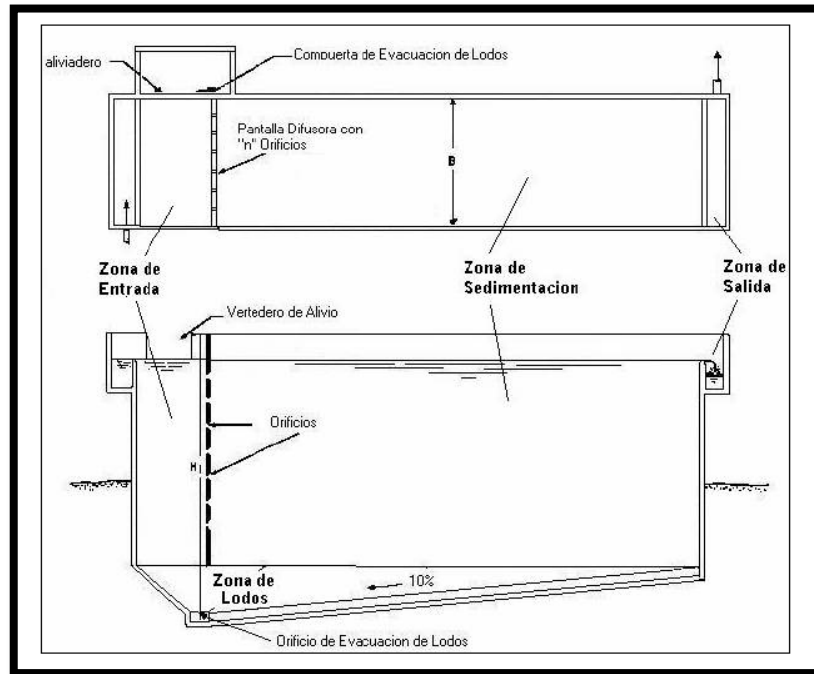
En la floculación, una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes mediante agitación lenta prolongada (floculación) durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculador es por lo tanto un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado.

**Floc.**-pequeñas masas gelatinosas formadas en un líquido por la reacción de un coagulante agregada a él, a través de procesos bioquímicos o por aglomeración.

### **1.10.6 Sedimentación**

Proceso de asentamiento de la materia suspendida, aprovechando la acción que ejerce la gravedad sobre las partículas más pesadas que el agua, que descienden depositándose sobre el fondo. Permiten que los flóculos, ya grandes, caigan al fondo por su propio peso. En el tramo final de los sedimentadores hay vertederos que toman las capas superiores de agua más clara y la envían a la siguiente etapa.

La sedimentación se realiza en un tanque construido de hormigón, en su interior tiene un vertedero triangular, en el que los sólidos se dirigen hacia el fondo para posteriormente ser descargados hacia el desagüe para su posterior lavado y tiene cuatro zonas que son:



**Figura 1- 2 Zonas de un Sedimentador**

Fuente: ROMERO 2006.

**Zona de entrada:** estructura de transición, que permite una distribución uniforme del flujo.

**Zona de sedimentación:** canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas.

**Zona de salida:** puede ser un vertedero, canaletas o tubos que recolectan el efluente sin trastornar la sedimentación de las partículas depositadas.

**Zona de recolección de lodos:** constituida con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y su evacuación periódica.

**Las actividades de operación comprenden las siguientes actividades:**

- Regulación del caudal de entrada.
- Purga de lodos.
- Retiro de material flotante.

### 1.10.7 Filtración

Es una operación unitaria que consiste en hacer pasar un líquido que contiene material suspendido, formado principalmente de floc, suelo, metales pesados y microorganismos, a través de un medio filtrante o poroso que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, éstas quedan retenidas en el medio filtrante. De esta manera, las partículas que no han decantado en el sedimentador son retenidas en los filtros. La filtración puede realizarse sin o con tratamiento previo de coagulación – floculación.

Por ello, para lograr la clarificación final del agua, se utiliza la filtración a través de medios porosos generalmente de arena, antracita o arena antracita. En la planta de purificación, la filtración remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto de floc, suelo, metales oxidados y microorganismos.

La remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección. La práctica considera que el propósito principal de la filtración es remover turbiedad e impedir la interferencia de la turbiedad con la desinfección al proveer protección a los microorganismos de la acción desinfectante.

**Tabla 1- 2 Tipos de Filtros**

<b>FILTROS</b>	
<b>Capas</b>	3
<b>Tamaño grano grueso</b>	3mm
<b>Tamaño grano medio</b>	1,5 mm
<b>Tamaño grano fino</b>	0,8 mm
<b>Coefficiente Uniformidad</b>	1,3
<b>Peso Específico</b>	2,6
<b>Distribución</b>	Estatificada
<b>Tipo</b>	Redondeada

Fuente: INTAL, 2015

Elaborado por: DELGADO, Ligia.2015

El tiempo transcurrido entre dos lavados consecutivos de filtro se llama carrera de filtración: que habitualmente en filtros de buena performance es superior a 24 horas. Esto dependerá de la turbiedad de entrada del líquido.



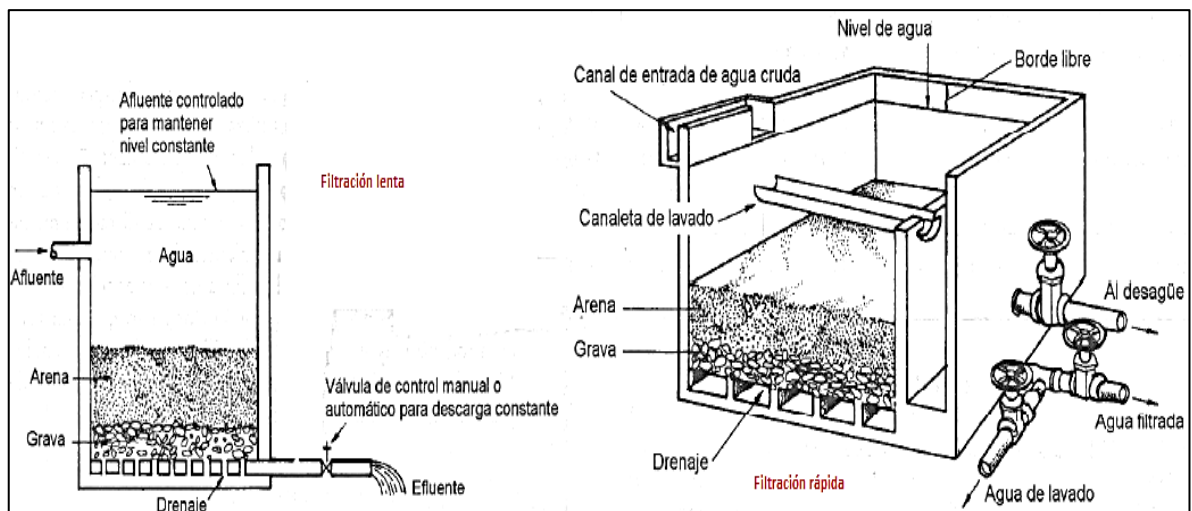
La filtración es el paso final de clarificación y se caracteriza por retener las partículas suspendidas o coloidales presentes en la solución acuosa que escurre a través de un medio poroso. La filtración favorece a la remoción de bacterias y remoción de la turbiedad.

El agua tratada es recogida en sumideros o tuberías situados en la parte baja del filtro. Es importante saber que mediante estos filtros también se puede eliminar la materia orgánica presente en el agua, incluido algunos plaguicidas y el amoníaco.

Con el uso el filtro se satura, es decir su lecho se carga de materia retenida en exceso, dando como resultado un efluente no aceptable, es por eso que se debe lavar con agua en contracorriente de filtración.

### Ventajas

- Mejora la calidad física, química y bacteriológica del agua.
- La eficacia en la eliminación de bacterias totales es igual que en los filtros rápidos.
- No se necesitan compuestos químicos.
- La operación y mantenimiento pueden ser llevados a cabo por mano de obra semiespecializada.
- El proceso se da por gravedad, no se necesita otra energía.
- El manejo de lodos no causa problemas.



**Figura 1- 3 Filtros de la Planta de tratamiento por dentro**

Fuente: ROMERO, 2006

### 1.10.8 Desinfección

Una vez que el agua fue filtrada, pasa a la reserva, allí se desinfecta según distintos métodos. El más usado es el agregado de cloro líquido. El cloro tiene la característica química de ser un oxidante, lo cual hace que se libere oxígeno matando los agentes patógenos, por lo general bacterias anaeróbicas.

Otros desinfectantes utilizados son: hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio (pastillas), ozono, luz ultravioleta, etc. Durante todo el proceso de potabilización se realizan controles analíticos de calidad. La suma de las etapas para potabilizar el agua se realiza en aproximadamente 4 horas.

La desinfección química de un sistema de abastecimiento de agua de consumo que presenta contaminación fecal reducirá el riesgo general de enfermedades, pero no garantizará necesariamente la seguridad del suministro. La eficacia de la desinfección puede también ser insatisfactoria frente a patógenos presentes en flóculos o partículas que los protegen de la acción del desinfectante

Una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro.

El cloro es indudablemente el elemento más importante que existe para la desinfección del agua. Asegurando la salud de la población ya que al agua potable se le exige que no contenga microorganismos patógenos. La desinfección significa una disminución de la población de bacterias hasta una concentración inocua, en contraste con la esterilización, en la cual se efectúa una destrucción total de la población bacteriana.

El desinfectante más comúnmente utilizado es el cloro y se debe exclusivamente a las siguientes razones:

- ✓ Existe disponible como gas, líquido o en forma granular
- ✓ Es relativamente barato
- ✓ Es de fácil aplicación puesto que es de solubilidad alta.
- ✓ En concentraciones que son insabora e inocuas para consumo humano deja un residual en solución el cual provee protección sanitaria de distribución
- ✓ Tiene una alta característica de toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades de distribución.

- ✓ Tiene una alta característica de toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades hídricas.
- ✓ Es un agente oxidante poderoso.

#### 1.10.8.1 *Dosificación de Cloro Gas*

La dosificación de cloro inicia donde el cilindro se conecta al clorador o al múltiple de suministro de cloro si se conecta más de un cilindro, el sistema de dosificación termina en el punto en que la solución de cloro se mezcla con el agua que se va a desinfectar, los componentes principales del sistema de dosificación son:

- Báscula
- Válvulas y tuberías
- Clorador
- Inyector o eyector y difusor

Con respecto a la báscula podemos mencionar que este elemento se encarga del registro del cloro empleado y la cantidad remanente en el cilindro; las válvulas y tuberías son elementos que permiten la transferencia de cloro y hacer las conexiones hasta el sitio de dosificación regulando o suspendiendo el suministro.

El clorador puede ser una unidad simple, de montaje directo sobre el cilindro, o un gabinete de piso, que permita medir con exactitud y seguridad el flujo de cloro gaseoso desde el cilindro y entregar las dosis exactas establecidas. El clorador está dotado de reguladores de presión y vacío, accionados por diafragmas y orificios que disminuyen la presión del cloro gaseoso. La presión reducida permite un flujo uniforme de gas, medido con exactitud por un rotámetro. Además, mantiene un vacío en la línea al inyector para propósitos de seguridad.

El cloro se transporta a través de tuberías de PVC, materiales inoxidables o similares donde se distribuye por medio de un difusor; el fin de utilizar este tipo de materiales en las tuberías radica en que la solución de cloro es altamente corrosiva con pH que varían entre 2 a 4.

Los difusores son tuberías cortas perforadas las cuales distribuyen uniformemente la dosificación de cloro dentro del caudal de agua que se va a tratar; existen dos tipos de difusores aquellos usados en tuberías y los que son usados en canales o tanques abiertos. Los difusores de

tubería 0,9 m de diámetro es un tubo que se introduce hasta el eje de la tubería principal para proveer dicha mezcla de cloro con el agua a tratar.

Los principales factores en tener en cuenta en sistemas de dosificación de cloro:

- Se debe proveer por lo menos una unidad de reserva que garantice el suministro continuo de la dosis apropiada.
- La luz solar no debe alcanzar directamente los cilindros de cloro.
- Para el control de la dosificación de cloro debe proveer una báscula de plataforma apropiada al tipo y a la cantidad de cilindros requeridos.
- Para minimizar la posibilidad de relicuefacción de cloro gaseoso, la distancia entre clorador y el cilindro de cloro debe ser tan corta como sea posible y el sistema de suministro de cloro, debe estar a una temperatura más baja que el clorador.
- La temperatura mínima para el área de almacenamiento de cloro es de aproximadamente de 10°C; bajo esta temperatura el flujo de cloro es crítico y se debería aislar los cilindros.

#### 1.10.8.2 *Control Final*

Antes de llegar al consumo, el agua es severamente controlada analizando muestras tomadas en distintos lugares del sistema.

La calidad del agua suministrada en todas las localidades, por más pequeñas que estas sean, se controlan diariamente por mediciones de cloro residual en extremo de red, de turbiedad en la planta de potabilización y exámenes bacteriológicos y fisicoquímicos periódicos con una cantidad de análisis mensuales acorde a los habitantes de cada localidad.

### 1.11 Pruebas de jarras

Es un procedimiento usado comúnmente en los laboratorios, determina cuáles son las condiciones óptimas para una planta de tratamiento de agua. Se las puede considerar un simulador de coagulación y floculación para la remoción de coloides suspendidos y materia orgánica.

Estos ensayos permiten ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y recrear a pequeña escala lo que se podría ver en un equipo de tamaño industrial.

Entre los principales objetivos de las pruebas de jarras tenemos:

- ✓ Controlar la dosis de coagulante que se añade al agua.
- ✓ Determinar la resistencia de los flóculos que se forman.
- ✓ Determinar el pH óptimo para un coagulante.
- ✓ Determinar la intensidad óptima del mezclado.
- ✓ Evaluar la dosis óptima de los ayudantes de la coagulación.
- ✓ Determinar cuál es el coagulante adecuado para el tratamiento de agua.

## **1.12 Optimización de la planta de tratamiento**

### **1.12.1 Caudal de diseño**

#### **1.12.1.1 Población de diseño**

La población de diseño o futura es un parámetro primordial en el cálculo del caudal de diseño para una población. Las plantas de agua potable no se diseñan para satisfacer solo una necesidad en la actualidad sino que deben prever el crecimiento de la población en un período de tiempo prudencial que varía entre 10 y 40 años, es por esta razón que es necesario estimar cuál será la población futura.

Con la siguiente ecuación se calculará la población futura:

$$Pf = Pa \times (1 + r)^n$$

**Ecuación 1- 1 Población futura**

Dónde:

**P<sub>f</sub>**: Población futura, (hab)

**n**: Intervalo de tiempo , (años)

**r**: Tasa de crecimiento poblacional, (%)

**P<sub>a</sub>**: Población actual, (hab)

#### 1.12.1.2 *Nivel de complejidad del sistema*

La asignación del nivel de complejidad se realiza de acuerdo con la población de diseño calculada y para su determinación se emplea la tabla siguiente:

**Tabla 1- 3 Nivel de complejidad del sistema en función de la población**

Nivel	Población de diseño
<b>Bajo</b>	< 2500
<b>Medio</b>	2501 – 12500
<b>Medio Alto</b>	12501 – 60000
<b>Alto</b>	> 60000

Fuente: ROMERO, J. A. 2006

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

El abastecimiento y consumo de agua depende de la estimación de la dotación del agua para una población depende de factores como: el tamaño de la población, nivel de complejidad, clima y situación geográfica.

#### 1.12.1.3 *Dotación Neta*

Es la cantidad mínima de agua que necesita un habitante para satisfacer sus necesidades básicas sin tomar en cuenta las pérdidas durante su conducción. Esta expresada en L/hab\*día y está en función del nivel de complejidad, como lo indica la siguiente tabla.

**Tabla 1- 4 Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema.**

Nivel de Complejidad	Dotación neta mínima L/hab*día	Dotación neta máxima L/hab*día
<b>Bajo</b>	100	150
<b>Medio</b>	120	175

<b>Medio Alto</b>	130	-
<b>Alto</b>	150	-

Fuente: ROMERO, J. A. 2006

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

#### 1.12.1.4 *Dotación bruta*

Es la cantidad máxima de agua que se necesita para satisfacer las necesidades básicas de consumo de agua de un habitante, tomando en cuenta las pérdidas que existan en el sistema de conducción del agua. La dotación neta esta expresada en L/hab\*día y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Dotación bruta} = \frac{\text{Dotación neta}}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

#### **Ecuación 1- 2 Dotación Bruta**

Las pérdidas técnicas es la diferencia entre el volumen de agua tratada medida a la salida del sistema de tratamiento y el volumen dotado a la población medida en los domicilios y están en función del nivel de complejidad como lo indica la tabla 1.5.

**Tabla 1- 5 Porcentajes de pérdidas técnicas**

<b>NIVEL DE COMPLEJIDAD</b>	<b>% MÁXIMO ADMISIBLE DE PÉRDIDAS TÉCNICAS</b>
<b>Bajo</b>	40
<b>Medio</b>	30
<b>Medio Alto</b>	25
<b>Alto</b>	20

Fuente: ROMERO, J. A. 2006

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

#### 1.12.1.5 *Caudal Medio Diario*

El caudal medio diario es el caudal calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = P_f * \text{Dotación bruta}$$

#### **Ecuación 1- 3 Caudal Medio Diario**

Dónde:

**Q<sub>md</sub>**: Caudal medio diario (L/día)

**P<sub>f</sub>**: Población futura, (hab)

#### 1.12.1.6 *Caudal Máximo Diario*

Es el consumo máximo de agua en un día consumido en un periodo del año .El caudal máximo diario se los calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{Md} = \frac{K_1 * Q_{md}}{86400}$$

#### **Ecuación 1- 4 Caudal máximo diario**

Dónde:

**Q<sub>Md</sub>**: Caudal máximo diario (m<sup>3</sup>/s)

**K<sub>1</sub>**: Coeficiente de Consumo máximo diario (adimensional)

**Q<sub>md</sub>**: caudal medio diario (L/día)

**K<sub>1</sub>**, está en función de nivel de complejidad del sistema como se muestra en la tabla 1.8.



**Tabla 1- 6 Coeficiente de consumo máximo diario K1**

NIVEL DE COMPLEJIDAD	K <sub>1</sub>
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio Alto	1,2
Alto	1,2

Fuente: ROMERO, J. A. 2006

Elaborado por: ELGADO, Ligia. 2015

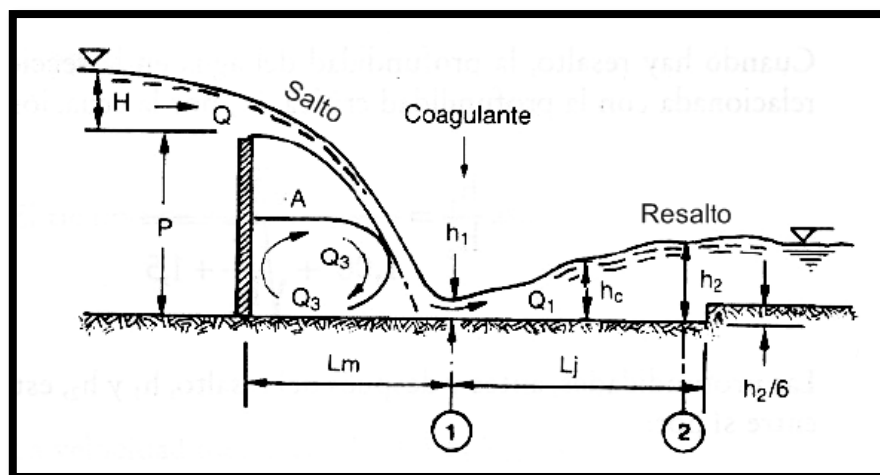
#### 1.12.1.7 Caudal de captación

Las estructuras de captación, se la trazará con una capacidad equivalente a 1,2 veces el caudal máximo diario (QMd):

$$Q_{\text{captación}} = 1,2 * QM_d$$

**Ecuación 1- 5 Caudal de captación**

#### 1.13 Mezcla rápida en vertedero rectangular



**Figura 1- 4 Configuración del Resalto en un Vertedero Rectangular**

Fuente: (ROMERO, 2006)

En este tipo de mezcladores, la mezcla se da por la turbulencia generada por un resalto hidráulico. Como se observa en la Fig.1-5 el coagulante se aplica en la sección 1 a una distancia

Lm que es la longitud del salto. No se recomienda una distancia menor a Lm, porque haría que parte del agua cruda reciba una dosis mayor de químico y por ende la restante una dosis menor. Luego de aplicar el coagulante parte del agua retorna hacia la sección A y la otra continúa su recorrido dándose un resalto (Lj).

Se diseñará este vertedero rectangular sin contracciones por su efectividad al momento de la mezcla del coagulante en el agua bruta, por su sencilla construcción y porque su costo es bajo.

### 1.13.1 Canal del vertedero

La profundidad del canal del vertedero puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$C_v = f_s \times H$$

**Ecuación 1- 6 Canal del Vertedero**

Dónde:

**C<sub>v</sub>**: Profundidad del canal del vertedero, (m)

**F<sub>s</sub>**: Factor de seguridad, (adimensional)

**H**: Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua, (m)

### 1.13.2 Ancho del Vertedero

Para un vertedero rectangular sin contracciones laterales en caída libre, el ancho del vertedero se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$B = \frac{Q}{1,84(H)^{\frac{3}{2}}}$$

**Ecuación 1- 7 Ancho del Vertedero**

Dónde:

**Q**: Caudal de diseño, (m<sup>3</sup>/s)

**H**: Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua (m)

**B**: Ancho del vertedero, (m)

### 1.13.3 Caudal por unidad de ancho

El caudal unitario, caudal por unidad de ancho del vertedero, se define por:

$$q = \frac{Q}{B}$$

#### Ecuación 1- 8 Caudal por unidad de ancho

Dónde:

**q:** caudal por unidad de ancho, (m<sup>2</sup>/s)

**Q:** caudal de diseño, (m<sup>3</sup>/s)

**B:** Ancho del vertedero, (m)

### 1.13.4 Profundidad Crítica del flujo

Se considera a la profundidad crítica de flujo como la profundidad en la cual un determinado caudal transita por un canal con el mínimo de energía específica. La profundidad crítica de flujo está dada por:

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

#### Ecuación 1- 9 Profundidad Crítica del flujo

Dónde:

**h<sub>c</sub>:** profundidad crítica del flujo, (m)

**q:** caudal por unidad de ancho, (m<sup>2</sup>/s)

**g:** Aceleración de la gravedad, (9.8 m/s<sup>2</sup>).

### 1.13.5 Longitud de salto

Se define como la distancia a la cual debe aplicarse el coagulante para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en todo el flujo de agua cruda.

Para el cálculo de la longitud del salto se usa la ecuación siguiente:

$$L_m = 4,3 P^{0.1} h_c^{0.9}$$

#### Ecuación 1- 10 Longitud de salto

Dónde:

**L<sub>m</sub>**: Longitud de salto, (m)

**P**: Altura de la pared del vertedero, (m)

**h<sub>c</sub>**: profundidad crítica del flujo, (m)

### 1.13.6 Profundidad Supercrítica o altura del agua después del salto.

Cuando la profundidad del flujo es menor que la profundidad crítica, la velocidad será mayor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina supercrítico, o flujo rápido, o veloz. Cuando hay resalto, la profundidad del agua está relacionada con la profundidad crítica, por la ecuación de White:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1.06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1.5}} h_c$$

#### Ecuación 1- 11 Profundidad Supercrítica o altura del agua después del salto.

Dónde:

**h<sub>1</sub>**: Profundidad supercrítica, (m)

**P**: Altura de la pared del vertedero, (m)

### 1.13.7 Velocidad del agua en el salto

La velocidad del agua en el salto se calcula por la ecuación:

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

**Ecuación 1- 12 Velocidad del agua en el salto**

Dónde:

**$h_1$** : Profundidad supercrítica, (m)

**$q$** : caudal por unidad de ancho, ( $m^2/s$ )

**$v_1$** : Velocidad del agua en el salto, (m/s)

### 1.13.8 Número de Froude

Es un número adimensional que en canales abiertos informa sobre el estado del flujo hidráulico, recibe este nombre en honor al ingeniero inglés William Froude.

El número de Froude debe estar entre 4,5 y 9 para lograr una mezcla eficaz y un resalto equilibrado.

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

**Ecuación 1- 13 Número de Froude**

Dónde:

**$F$** : Número de Froude, (adimensional)

**$v_1$** : Velocidad del agua en el salto, (m/s)

**$g$** : Aceleración de la gravedad, ( $9.8 m/s^2$ )

**$h_1$** : Profundidad supercrítica, (m)

### 1.13.9 Profundidad subcrítica o altura del agua después del resalto

Cuando la profundidad del flujo es mayor que la profundidad crítica, la velocidad será menor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina subcrítico, o flujo lento. La profundidad subcrítica se determina mediante la siguiente expresión:

$$h_2 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right) h_1$$

#### Ecuación 1- 14 Profundidad subcrítica o altura del agua después del resalto

Dónde:

**$h_2$** : Profundidad Subcrítica, (m)

**F**: Número de Froude, (adimensional)

**$h_1$** : Profundidad supercrítica, (m)

### 1.13.10 Velocidad del agua en el resalto

La velocidad del agua en el resalto se calcula por la siguiente ecuación:

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

#### Ecuación 1- 15 Velocidad del agua en el resalto

Dónde:

**$v_2$** : Velocidad del agua en el resalto, (m/s)

**q**: caudal por unidad de ancho, (m<sup>2</sup>/s)

**$h_2$** : Profundidad Subcrítica, (m).

#### 1.13.11 Pérdida de energía en el resalto

Cuando un flujo a régimen supercrítico se encuentra con una corriente subcrítica, se presenta un choque. Debido al choque, en el salto hidráulico ocurre una fuerte turbulencia que ocasiona pérdidas de energía.

La pérdida de energía en el resalto, se puede calcular por la fórmula de Belanger:

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

#### Ecuación 1- 16 Pérdida de energía en el resalto

Dónde:

**h<sub>p</sub>**: Pérdida de energía en el resalto, (m)

**h<sub>2</sub>**: Profundidad Subcrítica, (m)

**h<sub>1</sub>**: Profundidad supercrítica, (m)

#### 1.13.12 Longitud de resalto

La longitud del resalto, para resalto estable, se calcula por la fórmula de Smetana:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

#### Ecuación 1- 17 Longitud del resalto

Dónde:

**L<sub>j</sub>**: Longitud de resalto, (m)

**h<sub>2</sub>**: Profundidad Subcrítica, (m)

**h<sub>1</sub>**: Profundidad supercrítica, (m)

#### 1.13.13 Velocidad media en el resalto

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

**Ecuación 1- 18 Velocidad media en el resalto**

Dónde:

**$v_m$** : Velocidad media en el resalto, (m/s)

**$v_1$** : Velocidad del agua en el salto, (m/s)

**$v_2$** : Velocidad del agua en el resalto, (m/s)

#### 1.13.14 Tiempo de Mezcla

El tiempo de mezcla o retención es el tiempo que el coagulante está en contacto con el agua cruda y se calcula con la siguiente ecuación.

$$t = \frac{L_j}{v_m}$$

**Ecuación 1- 19 Tiempo de mezcla o retención**

Dónde:

**$t$** : Tiempo de mezcla o retención, (s)

**$L_j$** : Longitud de resalto, (m)

**$v_m$** : Velocidad media en el resalto, (m/s)

#### 1.13.15 Gradiente de Velocidad

El gradiente de velocidad se lo utiliza como un medio para el cálculo de los requerimientos energéticos de mezcla.

El gradiente de velocidad puede calcularse con la ecuación siguiente:



$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_p}{\mu t}}$$

**Ecuación 1- 20 Gradiente de velocidad**

Dónde:

**G:** Gradiente de velocidad, (s<sup>-1</sup>)

**Y:** Peso específico del agua, (N/m<sup>3</sup>)

**hp:** Pérdida de energía en el resalto, (m)

**μ:** Viscosidad Dinámica del agua, (Pa\*s)

El peso específico y la viscosidad absoluta del agua se encuentran en la siguiente tabla.

**Tabla 1- 7 Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta**

TEMPERATURA °C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$
0	2336.940
4	2505.560
10	2736.530
15	2920.010
20	3114.640
25	3266.960

**Fuente:** ROMERO, J. 2008

**Elaborado por:** DELGADO, Ligia. 2015

## **CAPITULO II**

### **2 MARCO EXPERIMENTAL**

#### **2.1 MUESTREO**

##### **2.1.1 Localización de la investigación**

La optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable se realizó en la ciudad de Echeandía, ubicada en el sector de San Vicente Alto, provincia de Bolívar, la cual recibe el agua proveniente de la vertiente de Charqui yacú.

##### **2.1.2 Método de recolección de la información**

Para la medición del caudal del sistema de potabilización se lo realizó in situ y de igual manera la toma de muestras a fin de recopilar información para el presente proyecto. Además se aplicó diversos métodos como: el método inductivo, deductivo y experimental, ya que es necesario conocer los hechos más importantes que se dan en el sistema de tratamiento del agua, para poder llegar a un adecuado y óptimo diseño de tratamiento.

###### **2.1.2.1 *Método inductivo***

El método inductivo es aquel método que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares, lo que posibilitará conocer la cantidad de agentes contaminantes que contiene el agua de la vertiente hidrográfica que abastece la planta de tratamiento de agua potable del Sector de San Vicente Alto de la ciudad de Echeandía – Provincia Bolívar, que permitirá abstraer conclusiones claras y concretas.

Esto se obtendrá con un análisis minucioso con las muestras del agua que se tomen en el lugar de estudio para posteriormente conocer su respectiva caracterización.

#### 2.1.2.2 *Método deductivo*

Son aquellos trabajos donde muestra preocupación, se centra en determinar los orígenes o las causas de un determinado conjunto de fenómenos, por lo que se partirá de conocimientos generales y actualizados de la planta de tratamiento para encontrar soluciones al problema de la calidad del agua que distribuye la planta de tratamiento de agua.

#### 2.1.2.3 *Método experimental*

El método experimental es un procedimiento que permite llegar a la verdad objetiva de los fenómenos. Mediante este método se realizará las pruebas de jarras el cual nos asegurará o afirmará el correcto funcionamiento del tratamiento que se va a aplicar para que el agua sea adecuada para el consumo. Se dejará proponiendo el diseño de la planta, con los respectivos procesos de tratamiento.

### 2.1.3 Procedimiento para la recolección de la información

La toma de muestras se las efectuó de acuerdo al cronograma establecido en el proyecto y se realizó las caracterizaciones en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se procedió a un muestreo sistemático simple donde las muestras recolectadas fueron tomadas en la etapa de captación primera etapa de la planta de tratamiento de agua potable y además se tomaron muestras de agua de salida o de consumo al final de la etapa donde el agua ya es tratada; este proceso de muestreo se lo realizó durante 4 semanas, en cada semana se hizo una toma de muestras, indistintamente el día.

**Tabla 2- 1 Recolección de Muestras**

MUESTRAS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA					
Lugar de muestreo	Días de muestreo	Número de muestras diarias	Total de muestras	Total de muestras	
Agua de	1	1	1	1	

<b>Vertiente</b>				
<b>Agua a la Entrada de la planta</b>	4	1	4	4
<b>Tanque de almacenamiento</b>	4	1	4	4
<b>Domicilio</b>	1	1	1	1
<b>Total de muestras</b>				10

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Metodología de trabajo

La realización de la presente investigación tuvo como fundamento de trabajo la recolección de muestras de agua cruda proceso que se lo realizó un día a la semana por un mes, estas mismas muestras se las recolectaron teniendo en cuenta especificaciones de seguridad e higiene para evitar posibles contaminaciones cruzadas de las muestras pudiendo producir resultados dudosos de las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del agua; los análisis de laboratorio se lo realizó en el laboratorio de análisis de aguas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### 2.2.2 Técnicas de Recolección

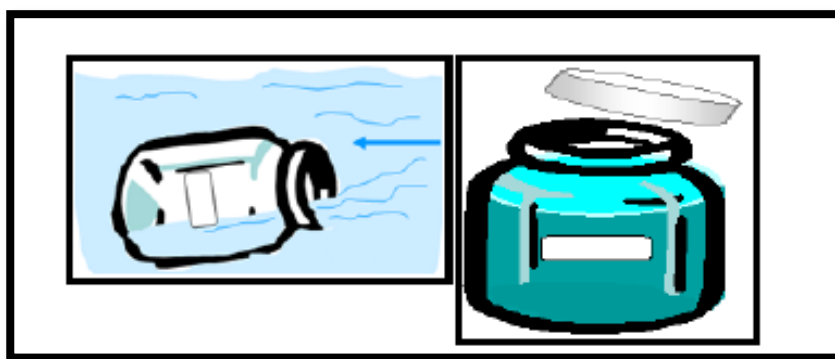
Se trabajó con muestras tomadas en varios días de trabajo las mismas que son de diferente épocas tanto en invierno como verano, a las cuales se realizó la caracterización físico- química y microbiológica.

Los recipientes usados en la toma de muestras fueron de plástico, donde primero se homogenizó la muestra, para proceder a llenarlo y luego al respectivo análisis. Primero realizamos los análisis físicos, para continuar con los químicos y microbiológicos. Para la toma de muestra microbiológica debe tomarse un recipiente esterilizado.

En muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, los frascos se llenan completamente y se tapan de tal forma que no exista aire sobre la muestra; lo contrario para las muestras que se van a utilizar en el análisis microbiológico, los recipientes, no deben llenarse completamente de modo que se deje un espacio de aire después de colocada la tapa, ya que permitirá mezclar la muestra antes del análisis y evitar contaminación accidental.

#### 2.2.2.1 *Pasos de las Técnicas de Muestreo*

1. Lavar los frascos donde se va a tomar la muestra con detergente y agua caliente.
2. Enjuagar los frascos con agua caliente 3 veces.
3. Enjuagar por último con agua destilada.
4. Tomar las muestras de las estaciones menos contaminadas, para evitar contaminación cruzada.
5. En la toma de muestras de aguas profundas, realizarlo con Botella Kemerer.
6. Tomar la muestra de 15 - 30 cm de profundidad.
7. Siempre en contra de la corriente.
8. Abrir el frasco sólo en el momento del muestreo.
9. Llenar los frascos hasta 2-3 cm antes de la tapa, para poder agitar la muestra.



**Figura 2- 1 Técnicas de Muestreo**

Fuente: Standard Methods

### 2.3 Identificación de las Muestras

Los recipientes que contienen las muestras fueron marcados de una manera clara y permanente, permitiendo la identificación sin error. Anotando, en el momento del muestreo, todos los detalles que ayuden a una correcta interpretación de los resultados (fecha y hora del muestreo, nombre de la persona que muestreó, tipo de análisis a realizarse, localización).

### 2.3.1 Transporte de las muestras

Las muestras microbiológicas fueron transportadas en un cooler debidamente acondicionado, donde se las preservó hasta que se realizara las pruebas respectivas. Las muestras físico-químicas fueron trasladadas normalmente ya que se realizaron los análisis tres horas después de ser tomadas.

### 2.3.2 Tratamiento de muestras

Se tomó una muestras semanales de los dos puntos de muestreo de interés a la captación agua cruda y al salir de la planta de tratamiento de agua donde se obtiene el agua potable ya tratada y se realizó la caracterización físico-química de las muestras con parámetros específicos en base a la norma.

**Tabla 2- 2 Parámetros de Caracterización del Agua Potable**

<b>Características Físicas</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Turbiedad	NTU	5
Color	Unidades Color Aparente	15
Sabor	-----	No objetable
Olor	-----	No objetable
pH	-----	6,5-8,5
Sólidos Totales	mg/L	1000
<b>Características Químicas</b>		
Cloruros	mg/L	250
Dureza	mg/L	300
Calcio	mg/L	70
Magnesio	mg/L	30-50
Alcalinidad	mg/L	250-300

Bicarbonato	mg/L	250-300
Sulfato	mg/L	200
Amonios	mg/L	1,0
Nitritos	mg/L	0,2
Nitratos	mg/L	50
Hierro	mg/L	0,3
Fosforo	mg/L	<0,3
<b>Características Microbiológicas</b>		
Coliformes totales	UFC/100 ml	<1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	<1

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: 2011

### 2.3.3 Equipos, materiales y reactivos

**Tabla 2- 3 Equipos, materiales y reactivos**

<b>EQUIPOS</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH-metro</li> <li>• Espectrofotómetro HACH</li> <li>• Balanza Analítica</li> <li>• Turbidímetro</li> <li>• Colorímetro</li> <li>• Conductímetro</li> <li>• Baño María</li> <li>• Estufa</li> <li>• Reverbero</li> <li>• Turbidímetro HACH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasos de Precipitación</li> <li>• Varillas de agitación</li> <li>• Pipetas</li> <li>• Probetas</li> <li>• Buretas</li> <li>• Pera</li> <li>• Pinzas</li> <li>• Vasos Erlenmeyer</li> <li>• Balones Aforados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactivos HACH</li> <li>• Fenolftaleína</li> <li>• Naranja de metilo</li> <li>• Dicromato de potasio</li> <li>• Nitrato de plata</li> <li>• Cianuro de Potasio</li> <li>• Buffer pH 10</li> <li>• Eriocromo T</li> <li>• Hidróxido de sodio</li> <li>• Murexida</li> <li>• Solución EDTA</li> </ul>

**Elaborado por:** DELGADO, Ligia. 2015

### 2.3.4 Métodos y Técnicas

#### 2.3.4.1 Métodos

Los métodos utilizados para esta investigación están adaptados al manual “Estandar Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales); y el manual de Métodos HACH.

**Tabla 2- 4 Métodos de análisis del agua**

DETERMINACIÓN	MÉTODO	MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO
<b>Turbiedad</b>	Nefelométrico	Turbidímetro Muestra de agua	Se coloca la muestra de agua en la celda de medición. Donde por medio del electrodo de cristal del equipo se lee los valores obtenidos.
<b>pH</b>	Potenciométrico	pH-metro Muestras Buffer Muestra de agua	Se coloca muestra de agua en vasos de precipitación donde la muestra es medida directamente con el pH-metro por medio del electrodo de cristal que presenta el equipo.
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Electrométrico	Electrodo Sensible Vasos de Precipitación Muestra de agua	Se coloca muestra de agua en vasos de precipitación donde la muestra es medida directamente por medio del electrodo de cristal que presenta el equipo.



<b>Sólidos Totales</b> <b>Disueltos</b>	Electrométrico	Electrodo Sensible Vasos de Precipitación Muestra de agua	Se coloca muestra de agua en vasos de precipitación donde la muestra es medida directamente por medio del electrodo de cristal que presenta el equipo.
<b>Dureza</b>	Volumétrico	Ericromo T Solución EDTA Muestra de agua Erlenmeyer 50 ml Bureta de 50 ml Pipeta de 10 ml Vaso de precipitación	25 mL de muestra de agua se adiciona 1mL de la solución tampón más una pizca de ericromo T en polvo finalmente se titulará con EDTA.
<b>Nitratos</b> <b>Nitritos</b> <b>Fosfatos</b> <b>Cloruros</b> <b>Sulfatos</b> <b>Hierro</b>	Espectrofotometría	Cubetas para equipo HACH Reactivos para cada determinación Muestra de agua	Se colocan 10mL de la muestra así como 10 mL de agua destilada para realizar un blanco y calibrar el equipo. Se coloca después de realizar el blanco del reactivo la muestra de agua, registrar y leer datos proporcionados por el equipo HACH

<b>Escherichia Coli</b> <b>Coliformes Totales</b>	Siembra	Cámara Incubadora Equipo de Filtración Cajas Petri Membranas de filtro Pinza Pipetas Medio de Cultivo	Se esteriliza el equipo microbiológico para la filtración, se toma 50 ml de muestra y se procede a filtrar, se vierte el reactivo y se siembra a la temperatura correspondiente.
--	---------	--	--

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

#### 2.3.4.2 Medida de caudal

La medida de caudal se realizó a la llegada del agua a la planta, se recogió el agua en un recipiente de 20 litros y con la ayuda del cronómetro se midió el tiempo en el que se demora en llenar el balde, los datos se muestran a continuación:

**Tabla 2- 5 Medida del caudal**

	Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
1	20	1,11	19
2	20	1,1	
3	20	0.9	
4	20	1,1	
		$\Sigma T = 1,05$	

Fuente: CAPAE (2015)

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

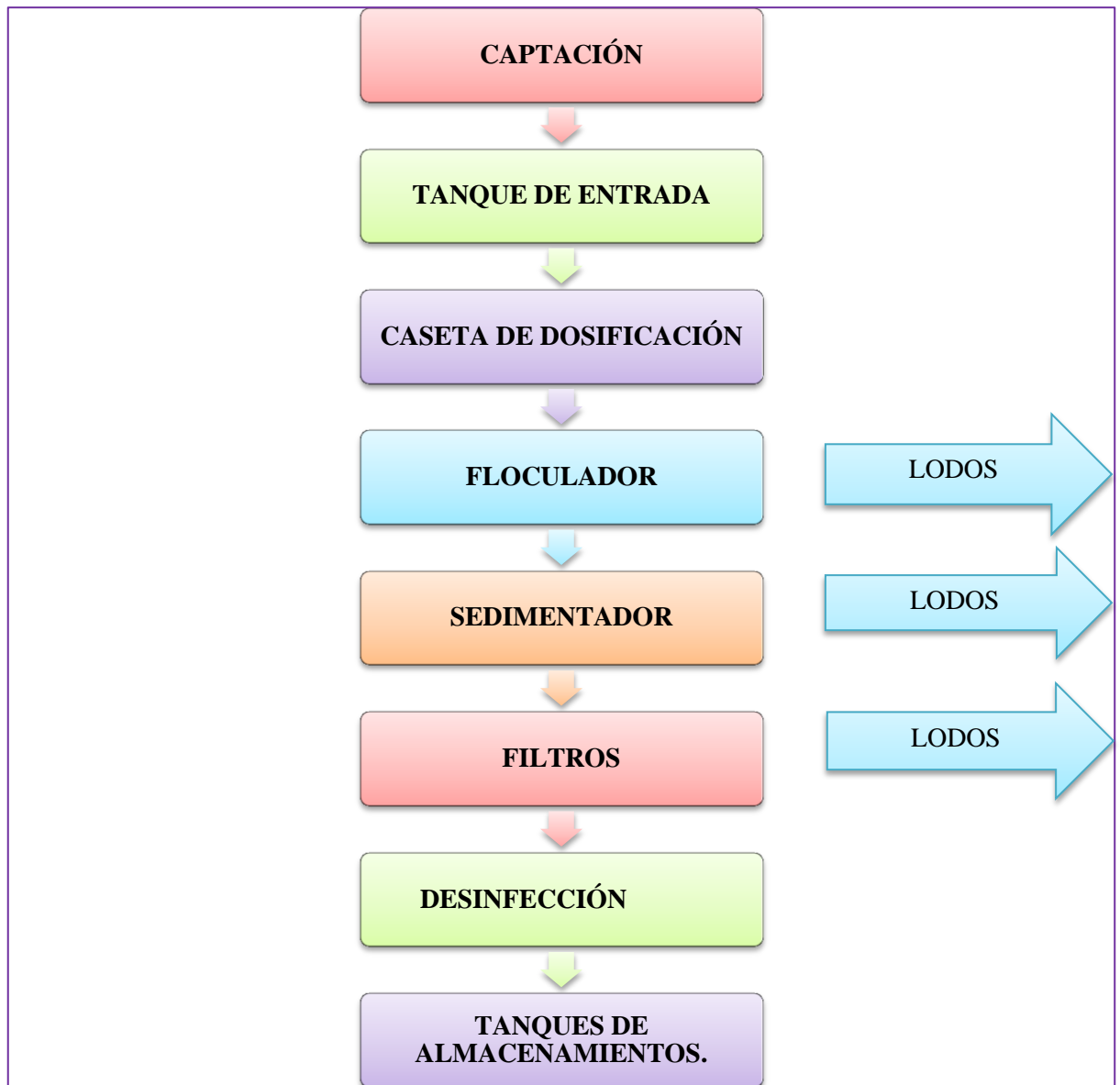
## 2.4 Datos experimentales

### 2.4.1 Diagnóstico actual de la Planta

El agua que llega para ser potabilizada a la planta de San Vicente Alto de la ciudad de Echeandía, proviene del estero Charquiyacu que se encuentra aproximadamente a 12 km del

lugar, en su trayecto recorre por medio de tuberías de PVC lo que garantiza sus características físicas-químicas estables para su tratamiento.

El sistema de potabilización actual presenta las siguientes etapas.



**Figura 2- 2 Estado actual de la planta**

Fuente: CAPAE

Elaborado por: DELGADO, Ligia.

Se realizó un recorrido por la planta en compañía del Ingeniero a cargo donde se determinó las condiciones actuales de la planta así como de sus posibles soluciones para mejorar la calidad del agua que será distribuida a la población en general.

A continuación se procedió a realizar la caracterización del agua, tanto a su llegada como a la salida de la planta de tratamiento, nos indica que los parámetros que se tiene fuera de los límites permisibles de acuerdo a la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable” son : el color, los nitritos, los fosfatos y la turbiedad.

## **2.4.2 Planta de Tratamiento**

### **2.4.2.1 Captación**

El sistema se abastece del estero Charquiyacu donde el agua llega a la planta.

### **2.4.2.2 Red de Conducción**

El agua se conduce por medio de tuberías de PVC, de 110mm y 90mm.

### **2.4.2.3 Tanque de Entrada**

Donde llega el agua de la captación y pasa a la caseta de dosificación de Sulfato de Aluminio.



**Figura 2- 3 Tanque de Ingreso**  
Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

#### 2.4.2.4 *Caseta de Dosificación de Sulfato de Aluminio.*



**Figura 2- 4 Caseta de Dosificación de Sulfato de Aluminio**

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

En esta caseta se procede a realizar la preparación de la solución de sulfato de aluminio, donde se coloca 25 kg de Sulfato de Aluminio en 500 litros de agua, y aplicando de acuerdo a la turbiedad, por goteo y le dosifican manualmente.

El agua pasa por un tanque donde la inyección del coagulante como producto químico (coagulante), Sulfato de Aluminio se realiza para la desestabilización del coloide o turbiedad del agua.

#### 2.4.2.5 *Floculador*

Existe un floculador hidráulico, que es de tipo serpentín, que cumplen la función de agrupar las pequeñas partículas (flóculos), que provocan color y turbiedad en el agua



**Figura 2- 5 Floculador Hidráulico.**

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

Mediante la incorporación de sustancias químicas, se consigue que las partículas neutralicen sus cargas electrostáticas y se formen los *flocs*. La agrupación de estas pequeñas partículas hará que aumenten de peso propiciando su caída al fondo del sedimentador, mientras recorre todo el trayecto del floculador.

#### 2.4.2.6 *Sedimentador*

La planta cuenta con un sedimentador, sus dimensiones son 24 m de longitud, 6.83 m de ancho, 6,58 m de profundidad.

La sedimentación se realiza en un tanque construido de hormigón, en su interior tiene un vertedero triangular, en el que los sólidos se dirigen hacia el fondo para posteriormente ser descargados hacia el desagüe para su posterior lavado.



**Figura 2- 6 Sedimentador**  
Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

#### 2.4.2.7 *Filtros*

La planta cuenta con cuatro filtros de arena, dos son filtros de ascendentes cuyas dimensiones son 12 m de longitud, 6,97 m de ancho, 5,30 m de profundidad, y dos descendentes cuyas dimensiones son 12 m de longitud, 6,39 m de ancho, 5,30 m de profundidad.



**Figura 2- 7 Filtros de arena**  
Elaborado por: DELGADO, Ligia.

El agua sedimentada llega hasta los filtros donde pasa a través de sucesivas capas de arena de distinto grosor, donde sale casi prácticamente potable. La función de los filtros es de retener aquellas partículas que no han sido sedimentadas completamente.

#### 2.4.2.8 *Desinfección*

En la planta se dosifica cloro gas al agua. Después de que el agua atraviesa los filtros de arena se dosifica con cloro gas la cual es almacenada en dos tanques antes de ser distribuida a los usuarios. El tanque de cloro gas se encuentra en una caseta de 3,17 m de largo por 2,08 m de ancho. La cantidad óptima de cloro gas para ser dosificada se lo realiza mediante tablas dadas por los proveedores de este producto.



**Figura 2- 8 Caseta de desinfección con cloro gas**  
Elaborado por: DELGADO, Ligia

#### 2.4.2.9 *Tanques de Almacenamiento y Distribución*

Una vez que el agua ha pasado por todo el proceso de potabilización, ésta es reservada en dos tanques que tienen un volumen total de 750 m<sup>3</sup>, para así ser distribuida a todos los usuarios que habitan en la ciudad.





**Figura 2- 9 Tanques de Almacenamiento y Distribución**

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

### **2.4.3 Caracterización del agua.**

Para la caracterización del agua se realizó en la planta de tratamiento tanto a la entrada como a la salida, en diferentes condiciones climáticas, en época de verano (días soleados) y en época invernal (días lluviosos) donde la calidad del agua tiende a ser mucho más turbio por lo cual este será nuestro objeto de control y análisis los mismos que están basados de acuerdo a las normas INEN 1108:2011.

**Tabla 2- 6 Caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda (época de invierno)**

PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRAS			
		1	2	PROMEDIO	LÍMITES
		ENTRADA	ENTRADA		
<b>pH</b>	-----	6,53	6,83	6,49	6,5-8,5
<b>Color</b>	Unidades de color aparente (Co-Pt)	30	28	29	15
<b>Conductividad</b>	μSiems/cm	60	78	69	<1250
<b>Turbiedad</b>	UNT	9,5	15	12,25	5
<b>Cloruros</b>	mg/l	2,8	3,5	3,15	250
<b>Dureza</b>	mg/l	28	38	33	200
<b>Calcio</b>	mg/l	4,8	4,8	4,8	70
<b>Magnesio</b>	mg/l	3,9	6,6	5,25	30-50
<b>Alcalinidad</b>	mg/l	70	60	65	250-300
<b>Bicarbonatos</b>	mg/l	71,4	61	66,2	250-300
<b>Amonios</b>	mg/l	0,010	0,010	0,010	<0,50
<b>Nitritos</b>	mg/l	0,018	0,44	0,23	0,2
<b>Nitratos</b>	mg/l	0,010	0,010	0,01	<50
<b>Sulfatos</b>	mg/l	16	14	15	200
<b>Fluoruros</b>	mg/l	0,010	0,008	0,009	1,5
<b>Hierro</b>	mg/l	0,014	0,018	0,016	0,13
<b>Fosfatos</b>	mg/l	3,18	1,12	2,15	<0,3
<b>Sólidos Totales</b>	mg/l	312	240	276	1000
<b>Sólidos Disueltos</b>	mg/l	32	32	32	500
<b>Coliformes totales</b>	UFC / 100 ml	6340	57	3198,5	<1
<b>Coliformes fecales</b>	UFC / 100 ml	110	3	56,5	<1

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Elaborado por:** DELGADO, Ligia.

	Parámetros fuera de norma
--	---------------------------

**Tabla 2- 7 Caracterización físico-química y microbiológica del agua tratada (época de invierno)**

PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRAS			
		1	2	PROMEDIO	LÍMITES
		SALIDA	SALIDA		
<b>pH</b>	-----	6,45	6,93	6,69	6,5-8,5
<b>Color</b>	Unidades de color aparente (Co-Pt)	17	23	20	15
<b>Conductividad</b>	μSiems/cm	61	58	59,5	<1250
<b>Turbiedad</b>	UNT	4,5	10	7,25	5
<b>Cloruros</b>	mg/l	4,3	4	4,2	250
<b>Dureza</b>	mg/l	68	58	63	200
<b>Calcio</b>	mg/l	4,8	4	4,4	70
<b>Magnesio</b>	mg/l	13,6	8,90	11,25	30-50
<b>Alcalinidad</b>	mg/l	50	48	49	250-300
<b>Bicarbonatos</b>	mg/l	51	49	50	250-300
<b>Amonios</b>	mg/l	0,010	0,010	0,01	<0,50
<b>Nitritos</b>	mg/l	0,020	0,40	0,21	0,2
<b>Nitratos</b>	mg/l	0,010	0,06	0,035	<50
<b>Sulfatos</b>	mg/l	12	14	13	200
<b>Fluoruros</b>	mg/l	0,010	0,010	0,01	1,5
<b>Hierro</b>	mg/l	0,060	0,0	0,037	0,3
<b>Fosfatos</b>	mg/l	1,200	0,70	0,95	<0,3
<b>Sólidos Totales</b>	mg/l	140	120	130	1000
<b>Sólidos Disueltos</b>	mg/l	32	32	32	500
<b>Coliformes totales</b>	UFC / 100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	<1
<b>Coliformes fecales</b>	UFC / 100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	<1

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Elaborado por:** DELGADO, Ligia.

	Parámetros fuera de norma
--	---------------------------

**Tabla 2- 8 Caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda (época de verano)**

PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRAS			
		3	4	PROMEDIO	LÍMITES
		ENTRADA	ENTRADA		
<b>pH</b>	-----	6,78	7,01	6,89	6,5-8,5
<b>Color</b>	Unidades de color aparente (Co-Pt)	14	14	14	15
<b>Conductividad</b>	µSiems/cm	60	86	69	<1250
<b>Turbiedad</b>	UNT	2,4	6,3	4,45	5
<b>Cloruros</b>	mg/l	6,5	6,4	6,45	250
<b>Dureza</b>	mg/l	72	80	76	200
<b>Calcio</b>	mg/l	14,4	12,8	13,6	70
<b>Magnesio</b>	mg/l	8,7	1,7	5,2	30-50
<b>Alcalinidad</b>	mg/l	70	70	70	250-300
<b>Bicarbonatos</b>	mg/l	71,4	71,4	71,4	250-300
<b>Amonios</b>	mg/l	0,18	0,18	0,018	<0,50
<b>Nitritos</b>	mg/l	0,01	0,009	0,0095	0,2
<b>Nitratos</b>	mg/l	0,010	0,10	0,006	<50
<b>Sulfatos</b>	mg/l	14	11	12,5	200
<b>Fluoruros</b>	mg/l	0,170	0,10	0,027	1,5
<b>Hierro</b>	mg/l	0,130	0,20	0,017	0,3
<b>Fosfatos</b>	mg/l	0,26	0,20	0,23	<0,3
<b>Sólidos Totales</b>	mg/l	440	380	410	1000
<b>Sólidos Disueltos</b>	mg/l	32	45	38,5	500
<b>Coliformes totales</b>	UFC / 100 ml	61	660	370,5	.....
<b>Coliformes fecales</b>	UFC / 100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	<1

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2005

	Parámetros fuera de norma
--	---------------------------

**Tabla 2- 9 Caracterización físico-química y microbiológica del agua tratada (época de verano)**

PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRAS			
		3	4	PROMEDIO	LÍMITE
		SALIDA	SALIDA		
<b>pH</b>	-----	6,61	7,61	7,11	6,5-8,5
<b>Color</b>	Unidades de color aparente (Co-Pt)	11	10	11,5	15
<b>Conductividad</b>	μSiems/cm	60	86	73	<1250
<b>Turbiedad</b>	UNT	2,2	3,0	2,1	5
<b>Cloruros</b>	mg/l	6	6,7	6,35	250
<b>Dureza</b>	mg/l	47,2	43,2	45,2	200
<b>Calcio</b>	mg/l	15,4	13,4	14,4	70
<b>Magnesio</b>	mg/l	2,1	2,3	2,2	30-50
<b>Alcalinidad</b>	mg/l	52	48	50	250-300
<b>Bicarbonatos</b>	mg/l	53	49	51	250-300
<b>Amonios</b>	mg/l	0,12	0,008	0,064	<0,50
<b>Nitritos</b>	mg/l	0,01	0,007	0,0085	0,2
<b>Nitratos</b>	mg/l	0,010	0,090	0,05	<50
<b>Sulfatos</b>	mg/l	21	15	18	200
<b>Fluoruros</b>	mg/l	0,50	0,010	0,26	1,5
<b>Hierro</b>	mg/l	0,050	0,23	0,14	0,3
<b>Fosfatos</b>	mg/l	0,17	0,14	0,16	<0,3
<b>Sólidos Totales</b>	mg/l	360	160	260	1000
<b>Sólidos Disueltos</b>	mg/l	32	46	39	500
<b>Coliformes totales</b>	UFC / 100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	<1
<b>Coliformes fecales</b>	UFC / 100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	<1

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

**Elaborado**

**por:**

DELGADO,

Ligia.

#### 2.4.3.1 *Parámetros fuera de norma*

Una vez que se realizó la caracterización del agua de la planta de San Vicente Alto de la Ciudad de Echeandía, provincia Bolívar se comparó con los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011, TULSMA y OMS y se identificaron los siguientes parámetros fuera de norma, siendo éstos: color, turbiedad, nitritos y fosfatos.

**Tabla 2- 10 Caracterización del agua cruda (Época invernal)**

Parámetro	Unidad	Valor permisible	Promedio
Color	Unit (Pt-Co)	15	29
Turbidez	NTU	5	12,55
Nitritos	mg/l	0,2	0,23
Fosfatos	mg/l	0,3	2,15

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, ESPOCH

**Elaborado por:** DELGADO, Ligia.

**Tabla 2- 11 Caracterización del agua tratada (Época invernal)**

Parámetro	Unidad	Valor permisible	Promedio
Color	Unit (Pt-Co)	15	20
Turbidez	NTU	5	7,25
Nitritos	mg/l	0,2	0,21
Fosfatos	mg/l	0,3	0,95

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, ESPOCH

**Elaborado por:** DELGADO, Ligia.

#### 2.4.3.2 *Prueba de Tratabilidad*

Se realizó las pruebas de jarras utilizando tanto con el sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio a diferentes concentraciones y a diferentes volúmenes de dosificaciones con el fin de determinar el mejor coagulante químico para tratar el agua, llegando a concluir que el Policloruro de aluminio al 1% con una dosificación de 13 ppm, es el más adecuado para controlar los parámetros que se encuentran fuera de la norma como: color, turbiedad, nitritos y fosfatos.

A continuación se muestran las pruebas realizadas de las distintas muestras obtenidas.

### 2.4.3.2.1 Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio

**Tabla 2- 12 Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio 1% (Primer Ensayo)**

Jarra N°	pH inicial	Color	Turbiedad	Sulfato de aluminio con hidróxido de sodio (1N)	Volumen (ml)	AGUA SEDIMENTADA	
						pH	Turbiedad
1	6,53	30	9,5		1	8,71	10,4
2					2	8,40	11,15
3					3	8,02	15,04
4					4	7,89	15,98

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 20015

**Tabla 2- 13 Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio 1% (Segundo Ensayo)**

Jarra N°	pH inicial	Color	Turbiedad	Sulfato de aluminio con hidróxido de sodio (1N)	Volumen (ml)	AGUA SEDIMENTADA	
						pH	Turbiedad
1	6,83	28	15		0,5	8,51	8,73
2					1	7,99	10,2
3					1,5	7,72	11,08
4					2	7,68	11,78

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

### 2.4.3.2.2 Prueba De Jarras con Policloruro de Aluminio

**Tabla 2- 14 Prueba de Jarras con Policloruro de Aluminio 1% (Primer Ensayo)**

Jarra N°	pH inicial	Color	Turbiedad	Policloruro de aluminio con hidróxido de sodio (1N)	Volumen (ml)	AGUA SEDIMENTADA	
						pH	Turbiedad
1	6,53	30	9,5		0,4	7,5	6
2					0,8	7,0	2,9
3					1,3	6,89	0,24
4					1,5	6,80	0,68

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

**Tabla 2- 15 Prueba de Jarras con Policloruro de Aluminio 1% (Segundo Ensayo)**

Jarra N°	pH inicial	Color	Turbiedad	Policloruro de aluminio con hidróxido de sodio (1N)	Volumen (ml)	AGUA SEDIMENTADA	
						pH	Turbiedad
1	6,83	28	15		0,5	7,59	4
2					1	7,20	3,2
3					1,3	7,01	0,30
4					2	6,98	1,0

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

**Elaborado por:** DELGADO, Ligia. 2015.



## CAPÍTULO III

### 3 CÁLCULOS Y RESULTADOS.

#### 3.1 Cálculos de Ingeniería.

##### 3.1.1 Población de diseño

En la actualidad los beneficiarios de esta agua son 8500 habitantes de la ciudad de Echeandía, si se realiza la proyección de población para 15 años.

$$Pf = Pa \times (1 + r)^n$$

Dónde:

**Pa:** Población Actual: 8500 habitantes dado por la CAPAE

**r:** Tasa de crecimiento anual: 1 % según el INEC

**n:** Tiempo de diseño: 15 años.

$$Pf = 8500 \times (1 + 0,01)^{15}$$

$$Pf = 9868 \text{ habitantes.}$$

**Tabla 3- 1 Proyección de la población futura**

N	AÑO	POBLACIÓN
0	2015	8.500
1	2016	8.585

<b>2</b>	2017	8.670
<b>3</b>	2018	8.757
<b>4</b>	2019	8.845
<b>5</b>	2020	8.933
<b>6</b>	2021	9.022
<b>7</b>	2022	9.113
<b>8</b>	2023	9.204
<b>9</b>	2024	9.296
<b>10</b>	2025	9.389
<b>11</b>	2026	9.483
<b>12</b>	2027	9.578
<b>13</b>	2028	9.673
<b>14</b>	2029	9.770
<b>15</b>	2030	9.868

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

#### 3.1.1.1 *Nivel de complejidad del sistema*

De acuerdo con la tabla 1- 3 y conociendo que la población futura dentro de 15 años es de 9.868 habitantes, el nivel de complejidad para nuestro proyecto es medio.

<b>Nivel</b>	<b>Población de diseño</b>
Bajo	< 2500
Medio	2501 – 12500
Medio Alto	12501 – 60000
Alto	> 60000

Fuente: ROMERO, J. 2006

#### 3.1.1.2 *Dotación Neta*

De acuerdo con la tabla 1- 4 y conociendo que el nivel de complejidad de diseño es medio, la Dotación Neta mínima a utilizar es de 120 L/ hab \* día.

Nivel de Complejidad	Dotación neta mínima L/hab*día	Dotación neta máxima L/hab*día
Bajo	100	150
<b>Medio</b>	<b>120</b>	<b>175</b>
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: ROMERO, J. 2006.

### 3.1.1.3 *Dotación Bruta*

Para el cálculo de la dotación bruta usamos la dotación neta y el porcentaje máximo admisible de pérdidas técnicas que se encuentra en la tabla 1-5.

NIVEL DE COMPLEJIDAD	% MÁXIMO ADMISIBLE DE PÉRDIDAS TÉCNICAS
Bajo	40
<b>Medio</b>	<b>30</b>
Medio Alto	25
Alto	20

Fuente: ROMERO, J. 2006

A partir del nivel de complejidad del sistema se escoge el porcentaje de pérdidas técnicas es del 30% y se calcula la dotación bruta a partir de la ecuación 1.2.

$$\text{Dotación bruta} = \frac{\text{Dotación neta}}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

Dotación Neta: 120 L/ (hab \* día)

Pérdidas técnicas: 30%

$$\text{Dotación bruta} = \frac{120}{1 - 0,30}$$

$$\text{Dotación bruta} = 171.43 \frac{\text{L}}{\text{hab} \times \text{día}}$$

$$\text{Dotación bruta} = 1,98 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{hab} \times \text{s}}$$

#### 3.1.1.4 *Caudal Medio Diario*

El caudal medio diario se calcula mediante la ecuación 1-3

$$Q_{md} = P_f * \text{Dotación bruta}$$

$$Q_{md} = 9868.236 \text{ hab} \times 171.43 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}}$$

$$Q_{md} = 1691711,69 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$Q_{md} = 19,58 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

#### 3.1.1.5 *Caudal Máximo Diario ( $Q_{Md}$ )*

El caudal máximo diario es el caudal de diseño para la planta de tratamiento y se calcula mediante la ecuación 1- 4. El coeficiente de consumo máximo diario ( $K_1$ ), está en función del nivel de complejidad del sistema y se lo obtiene de la tabla 1-6.

$$Q_{Md} = \frac{K_1 \times Q_{md}}{86400}$$

$$Q_{Md} = \frac{1,3 \times 1691711,69}{86400}$$

$$Q_{Md} = 25,45 \frac{L}{s}$$

### 3.1.1.6 *Caudal de captación*

Empleamos la Ecuación 1- 5, para calcular el caudal de captación:

$$Q_{captación} = K_2 * Q_{Md}$$

$$Q_{captación} = 1,2 * 25,45 \frac{l}{s}$$

$$Q_{captación} = 30,54 \text{ l/s}$$

### 3.1.2 **Vertedero rectangular (Mezcla rápida)**

El caudal que recibirá el vertedero rectangular es de 25,45 L/s y será construido de hormigón. El objetivo del diseño del vertedero es la inyección de coagulantes durante el salto hidráulico favoreciendo la mezcla rápida y homogenización del mismo.

#### 3.1.2.1 *Canal del vertedero*

De acuerdo a los parámetros establecidos en el capítulo de estructuras hidráulicas, educación virtual, Universidad Nacional de Colombia, la carga sobre el vertedero, H, es de 0,05 m como

mínimo, que se usa para caudales bajos. Al diseñar las operaciones para un caudal de 25,45l/s se asume para H valor de 0,06 m.

La profundidad del canal del vertedero con un factor de seguridad del 10% se calcula con la Ec.1-6

$$C_v = f_s \times H$$

Fs: 10%

$$C_v = 1.10 \times 0,06$$

$$C_v = 0,066 \text{ m} = 1\text{m}$$

Se aproxima a 1 m el valor de la profundidad del canal para que el agua tenga buena caída y se genere una mayor turbulencia para la aplicación del coagulante.

### 3.1.2.2 *Ancho del Vertedero*

El ancho del vertedero se evalúa con la ecuación 1-7.

$$B = \frac{Q}{1,84(H)^{\frac{3}{2}}}$$

$$B = \frac{0,02545}{1,84(0,05)^{\frac{3}{2}}}$$

$$B = 1,23 \text{ m}$$

### 3.1.2.3 *Caudal por unidad de ancho*

El caudal por unidad de ancho se calcula a partir de la ecuación 1- 8.

$$q = \frac{Q}{B}$$

$$q = \frac{0,02545}{1,23}$$

$$q = 0,0207 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

### 3.1.2.4 *Profundidad Crítica del flujo*

La profundidad crítica se calcula mediante la ecuación 1-9.

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = \left( \frac{0,0207^2}{9,8} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = 0,035 \text{ m}$$

### 3.1.2.5 *Longitud de salto*

La longitud de salto se calcula mediante la ecuación 1-10. La Norma técnica CETESB L4.120 de criterios y procedimiento aplicables al uso de vertederos de paredes delgadas, recomienda que la altura de la pared (P) estén imitados a valores superiores a 10m, por tal motivo con la finalidad de obtener un resalto estable y una mezcla rápida eficiente se asume que la altura de

la pared del vertedero será de  $P= 0,60\text{m}$ , dicho valor será aceptado al momento de calcular el número de Froude el mismo que debe estar entre 4,5 y 9.

Por lo tanto, la longitud de alto será, según la ecuación 1-10.

$$L_m = 4,3 P^{0.1} h_c^{0.9}$$

$$L_m = 4,3(0,60)^{0.1} (0,035)^{0.9}$$

$$L_m = 0,19 \text{ m}$$

### 3.1.2.6 *Profundidad Supercrítica*

La profundidad supercrítica o altura del agua después del salto, se calcula mediante la ecuación 1-11.

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} h_c$$

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{0,60}{0,035} + 1,5}} 0,035$$

$$h_1 = 9,20 * 10^{-3} \text{ m}$$



### 3.1.2.7 *Velocidad del agua en el salto*

La velocidad del agua en el salto se evalúa con la ecuación 1-12.

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

$$v_1 = \frac{0,0207}{9,20 * 10^{-3}}$$

$$v_1 = 2,25 \frac{m}{s}$$

### 3.1.2.8 *Número de Froude*

El número de Froude se calcula a partir de la ecuación 1-13.

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

$$F = \frac{2,25}{\sqrt{9,8 \times 9,20 * 10^{-3}}}$$

$$F = 7,49$$

El número de Froude se encuentra dentro de los parámetros establecidos de 4,5 – 9 por lo que si va a existir una mezcla eficiente y un resalto estable.

### 3.1.2.9 *Profundidad Subcrítica*

La profundidad Subcrítica o altura del agua después del resalto, se calcula a partir de la ecuación 1-14.

$$h_2 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right) h_1$$

$$h_2 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8(7,49)^2} - 1 \right) 9,20 * 10^{-3}$$

$$h_2 = 0,093 \text{ m}$$

### 3.1.2.10 *Velocidad del agua en el resalto*

Este parámetro se calcula con la ecuación 1-15.

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$v_2 = \frac{0,0207}{0,093}$$

$$v_2 = 0,22 \frac{m}{s}$$

### 3.1.2.11 *Pérdida de energía en el resalto*

La energía perdida durante el resalto se calcula mediante la ecuación 1-16

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 h_2}$$

$$h_p = \frac{(0,093 - 9,20 * 10^{-3})^3}{4(9,20 * 10^{-3})(0,093)}$$

$$h_p = 0,172 \text{ m}$$

### 3.1.2.12 *Longitud de resalto, para resalto estable*

Para el resalto estable según el número de Froude, la longitud del resalto, se calcula a partir de la ecuación 1-17.

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

$$L_j = 6(0,093 - 9,20 * 10^{-3})$$

$$L_j = 0,50 \text{ m}$$

### 3.1.2.13 *Velocidad media en el resalto*

La velocidad media en el resalto se calcula a partir de la ecuación 1-18.

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$v_m = \frac{2,25 + 0,22}{2}$$

$$v_m = 1,24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### 3.1.2.14 *Tiempo de Mezcla*

El tiempo de mezcla se calcula a partir de la ecuación 1.19.

$$t = \frac{L_I}{v_m}$$

$$t = \frac{0,50}{1,24}$$

$$t = 0,40 \text{ s}$$

#### 3.1.2.15 *Gradiente de Velocidad*

El gradiente de velocidad se calcula a partir de la ecuación 1-20. La viscosidad dinámica y peso específico del agua a una temperatura de 25°C se observa en la tabla 1.7.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} x \sqrt{\frac{h}{T}}$$

Dónde:

**G:** Gradiente de velocidad, (s<sup>-1</sup>).

**h:** Pérdida de energía en el resalto: 0,172 m.

**T:** Tiempo de mezcla: 0,40 s.

$\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta: 3266.960 (25°C), [Anexo1(a)].

$$G = 3266,960 x \sqrt{\frac{0,172}{0,40}}$$

$$G = 2142.29 \text{ s}^{-1}$$

Previamente aplicando la siguiente relación determinamos si el vertedero rectangular puede ser utilizado como aforador:

$$\frac{P}{h_c} > 3$$

$$\frac{0.60}{0.172} = 3.49 > 3 \text{ Si puede ser usado como aforador.}$$

### 3.1.3 Determinación del Agente Coagulante

#### 3.1.3.1 Cálculo de la cantidad requerida de PAC en Época Invernal.

Mediante la siguiente relación obtenemos la cantidad de PAC a emplear en base a la consideración que se establecen a continuación. Gracias a la prueba de jarras realizada se determinó que la solución de PAC a usar es al 1%.

#### Ecuación 3- 1 Cálculo de la Cantidad Requerida de PAC

$$\begin{array}{ccc} & 1g \text{ PAC} & \\ X & & \swarrow \searrow \\ & 100ml \text{ sol.} & \\ & 1,3 \text{ ml sol.} & \end{array}$$

$$X = \frac{0,013g \text{ PAC}}{L \text{ sol.}} \times \frac{1000mg \text{ PAC}}{1g \text{ PAC}}$$

$$X = 13 \frac{mg}{l} \text{ ó } 13 \text{ ppm de PAC}$$

### 3.1.3.1.1 Caudal de Dosificación de PAC

$$Q = 19 \frac{L}{s} \times \frac{86400 s}{día} \times \frac{m^3}{1000 L}$$

#### Ecuación 3- 2 Caudal de Dosificación PAC

$$Q = 1641,6 \frac{m^3}{día}$$

### 3.1.3.1.2 Dosificación de PAC

Por lo tanto la cantidad de Policloruro de Aluminio a usar por día será:

$$PAC = \frac{13mg}{L} * \frac{1641,6m^3}{día} * \frac{1000L}{m^3} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1kg}{1000g}$$

$$PAC = 21,34 \frac{Kg}{día}$$

### 3.1.3.2 Cálculo de los Costos de Operación con PAC

#### 3.1.3.2.1 Cálculo de los costos de operación para época invernal

Datos:

Dosificación de Policloruro de Aluminio = 21,34 (kg/día)

Costo del saco de Policloruro de Aluminio = \$35

Presentación del costo de Policloruro de Aluminio = 25 kg

$$\text{\$} = \frac{21,34 \left( \frac{kg}{dia} \right) * \$35}{25 kg}$$

$$\text{\$} = \mathbf{29,88 \text{ (\$/dia)}}$$

### 3.1.3.3 *Porcentaje de Remoción*

#### 3.1.3.3.1 *Color*

Datos:

Antes del tratamiento = 29 (Und Co/Pt)

Después del tratamiento = 2 (Und Co/Pt)

$$x = \frac{29 - 2}{29} * 100$$

$$x = \mathbf{93,10\%}$$

#### 3.1.3.3.2 *Turbiedad*

**Datos:**

Antes del tratamiento = 12,55 (UNT)

Después del tratamiento = 0,24 (UNT)

$$x = \frac{12,55 - 0,24}{12,55} * 100$$

$$x = \mathbf{98,08\%}$$

### 3.1.3.3.3 Nitritos

Datos:

Antes del tratamiento = 0,23 (mg/L)

Después del tratamiento = 0,00 (mg/L)

$$x = \frac{0,44 - 0,00}{0,44} * 100$$

$$x = 100\%$$

### 3.1.3.3.4 Fosfatos

Datos:

Antes del tratamiento = 2,15 (mg/L)

Después del tratamiento = 0,12 (mg/L)

$$x = \frac{2,15 - 0,12}{2,15} * 100$$

$$x = 94,41 \%$$

## 3.2 Resultados

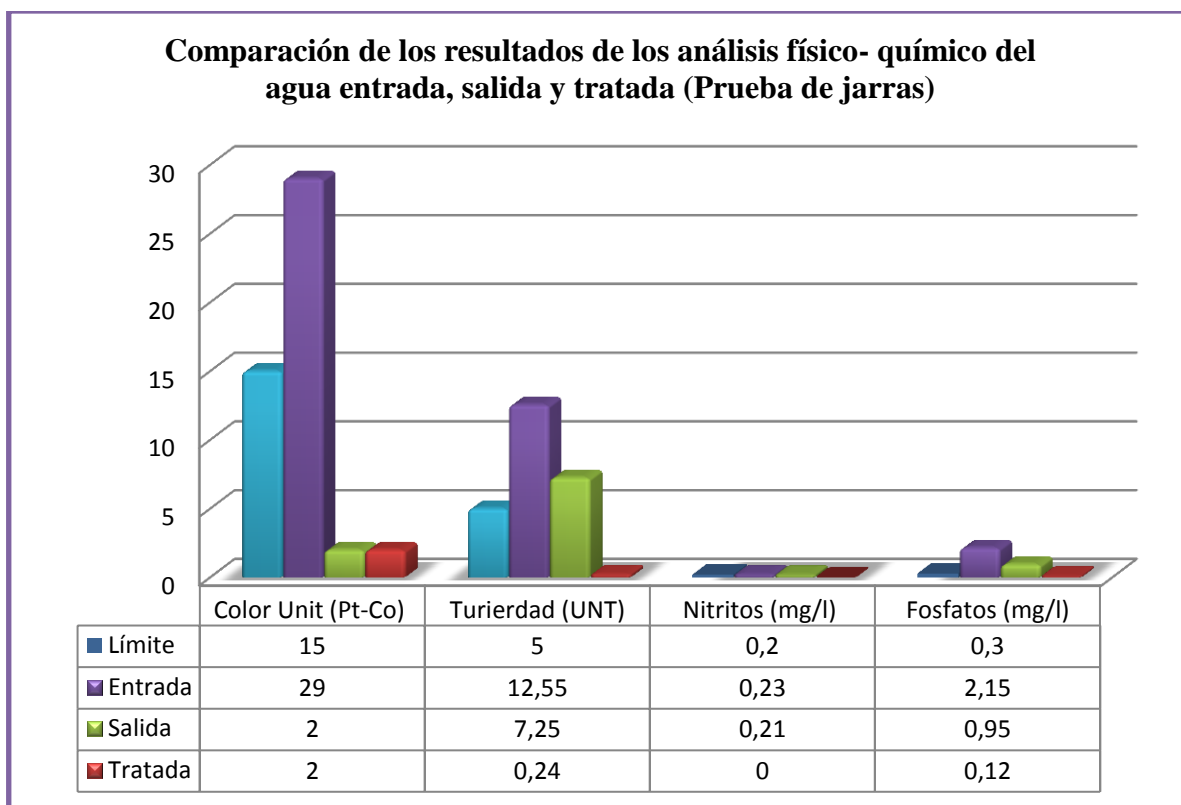
### 3.2.1 Resultados de la caracterización del agua.

**Tabla 3- 2 Resultados de los análisis físico - químico del agua de entrada, de salida y tratada (Prueba de jarras)**

Parámetro	Unidad	Limite	Resultado		
			Entrada	Salida	Tratada
Color	Unit (Pt-Co)	15	29	20	2
Turbidez	NTU	5	12,55	7,25	0,24
Nitritos	mg/l	0,2	0,23	0,21	0
Fosfatos	mg/l	0,3	2,15	0,95	0,12

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015





**Gráfico 3- 1 Comparación de los resultados de los análisis físico- químico del agua entrada, salida y tratada (Prueba de jarras)**

Elaborado por: DELGADO, Ligia.

En este gráfico se observa que los parámetros de color, turbiedad, nitritos y fosfatos tanto de entrada como de salida del agua se encuentran fuera de norma y luego de aplicar el tratamiento respectivo todos los parámetros cumplen los límites permisibles conforme a la norma establecida.

### 3.2.2 Resultados microbiológicos

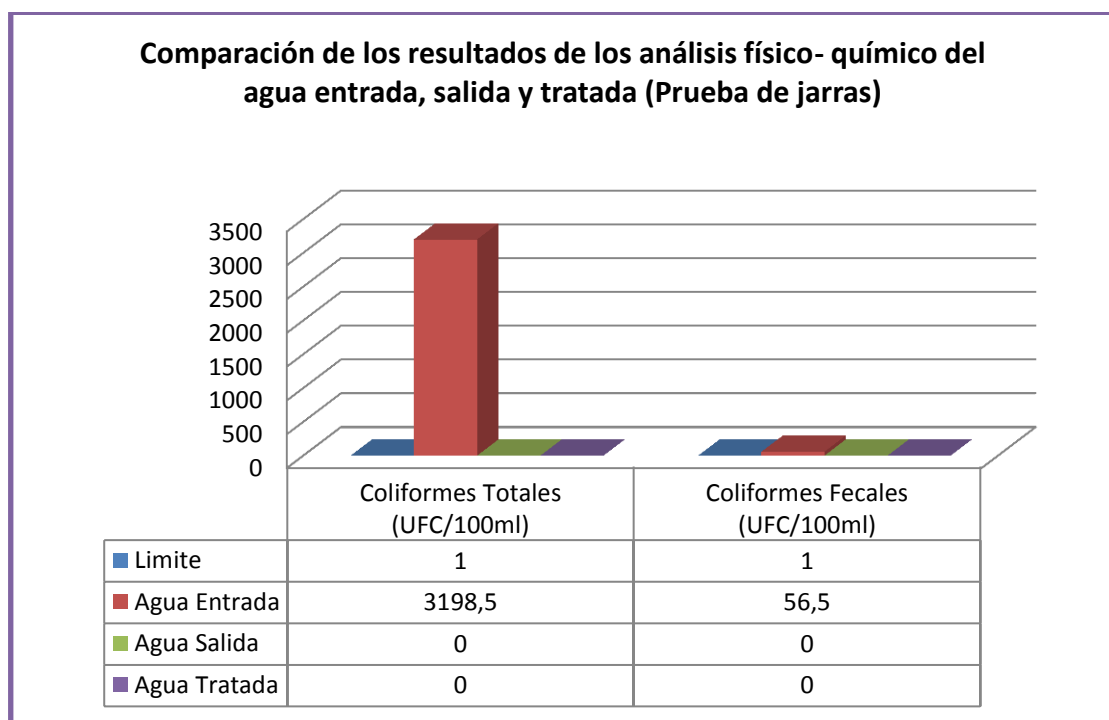
Debido a que el agua de entrada de la planta actual contiene presencia de Coliformes totales y fecales, pero no a la salida de la planta se procedió a realizar una comparación de los parámetros.

**Tabla 3- 3 Resultados de los análisis microbiológicos del agua de entrada, de salida y tratada (Prueba de jarras)**

Parámetros	Unidad	Límites	Resultados		
			Entrada	Salida	Tratada
<b>Coliformes Totales</b>	UFC/100mL	< 1	3198,5	Ausencia	Ausencia
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100mL	< 1	56,5	Ausencia	Ausencia

**Fuente:** Laboratorio SAQMIC; Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH

**Elaborado por:** DELGADO, Ligia.



**Gráfico 3- 2 Comparación de los resultados de los análisis microbiológicos del agua entrada, salida y tratada (Prueba de jarras)**

**Elaborado por:** DELGADO, Ligia. 2015

En esta gráfica se puede observar la comparación de los resultados microbiológicos del agua de entrada, salida y tratada, de acuerdo a los límites permisibles de la norma.

### 3.2.3 Resultados de los Procesos de Potabilización

**Tabla 3- 4 Resultados de la Proyección Futura 2030**

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Población futura	Pf	9868,236	Habitantes
Dotación neta	Dn	120	l/hab-día
Dotación bruta	Db	171,43	l/hab-día
Caudal medio diario	Qmed	19,58	l/s
Caudal máximo diario	QMd	25,45	l/s

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

### 3.2.3.1 *Vertedero Rectangular*

**Tabla 3- 5 Resultados del diseño del Mezclador rápido en vertederos rectangulares**

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Profundidad del canal del vertedero	Cv	1	M
Longitud del canal del vertedero	-	1	M
Ancho del vertedero	B	1,23	M
Caudal por unidad de ancho	Q	0,027	m <sup>2</sup> /s
Profundidad crítica de flujo	Hc	0,035	M
Longitud del salto	Lm	0,19	M
Profundidad supercrítica	h1	0,0022	M
Velocidad del agua en el salto	v1	2,25	m/s
Número de Froude	F	7,49	-
Profundidad subcrítica	h2	0,093	M
Velocidad del agua en el resalto	v2	0,22	m/s
Pérdida de energía en el resalto	Hp	0,172	M
Longitud del resalto	Lj	0,50	M
Velocidad media en el resalto	Vm	1,24	m/s
Tiempo de mezcla	T	0,40	S
Gradiente de velocidad	G	2142,29	s <sup>-1</sup>

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

### 3.2.4 Resultados Dosificación Agente Coagulante

**Tabla 3- 6 Resultado de la dosificación del Agente coagulante**

COAGULANTE	SÍMBOLO	DOSIFICACIÓN	UNIDAD
<b>Policloruro de Aluminio</b>	X	21,34	kg/día

Elaborado por: DELGADO, Ligia, 2015

### 3.2.5 Resultado de la caracterización del agua tratada (Pruebas de Jarras)

**Tabla 3- 7 Resultado de la caracterización del agua tratada (pruebas de jarras)**

DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADO	LIMITE PERMISIBLE
Color	Und Co/Pt	2	< 15
<b>pH</b>	Unid	6,89	6.5-8.5
Conductividad	μSiems/cm	49,9	< 1250
Turbiedad	UNT	0,24	5
Cloruros	mg/L	0,8	250
Dureza	mg/L	25,0	200
Calcio	mg/L	6,0	70
Magnesio	mg/L	1,0	30-50
Alcalinidad	mg/L	30,0	250-300
Bicarbonatos	mg/L	30,4	250-300
Sulfatos	mg/L	15,0	200
Amonios	mg/L	0,1	< 0,50
Nitritos	mg/L	0,00	0,2
Nitratos	mg/L	0,1	< 50
Hierro	mg/L	0,05	0,30
Fosfatos	mg/L	0,12	< 0,30
Sólidos Totales	mg/L	97,0	1000

Sólidos Disueltos	mg/L	32,0	500
Coliformes Totales	UFC/100mL	Ausencia	< 1
Coliformes Fecales	UFC/100mL	Ausencia	< 1

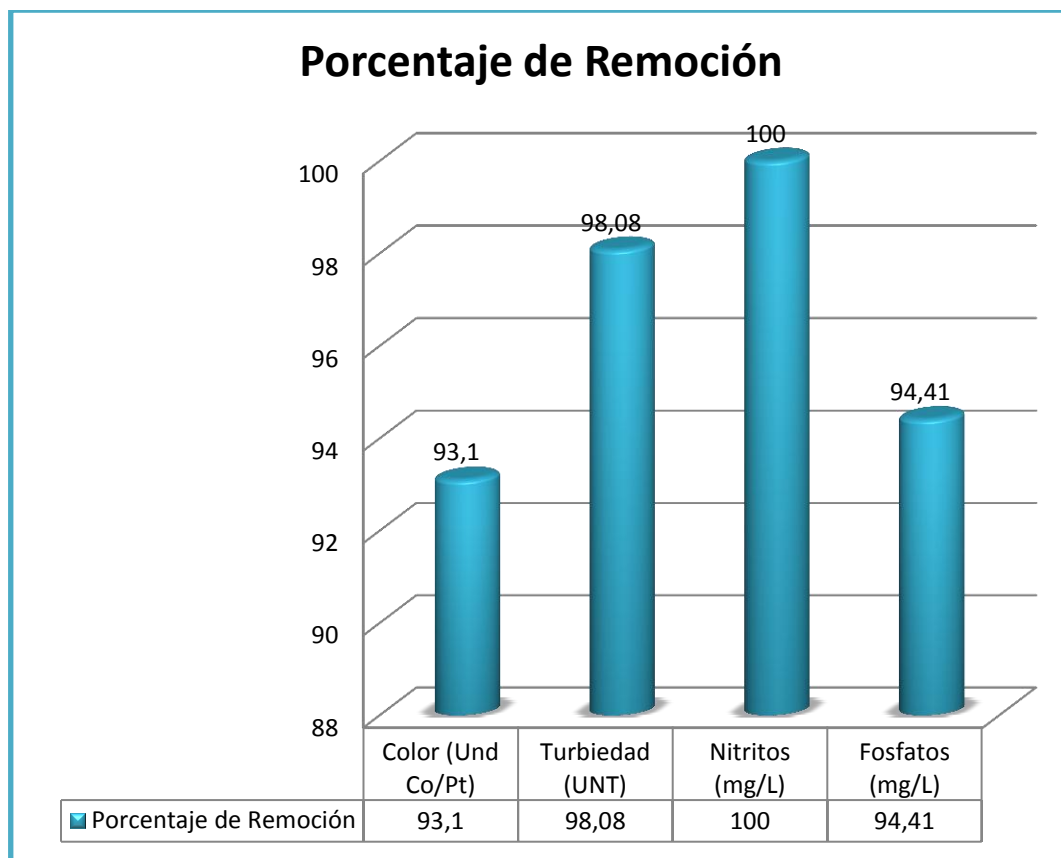
Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

### 3.2.6 Porcentaje de Rendimiento

**Tabla 3- 8 Porcentaje de remoción**

PARÁMETRO	ANTES DE TRATAMIENTO	DESPUÉS DE TRATAMIENTO (PRUEBAS DE JARRAS)	% DE REMOCIÓN	%Eficiencia
<b>Color (Und Co/Pt)</b>	29	2	93,10	96,39
<b>Turbiedad (UNT)</b>	12,55	0,24	98,08	
<b>Nitritos (mg/L)</b>	0,23	0,00	100	
<b>Fosfatos (mg/L)</b>	2,15	0,12	94,41	

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015



**Gráfico 3- 3 Porcentaje de Remoción**

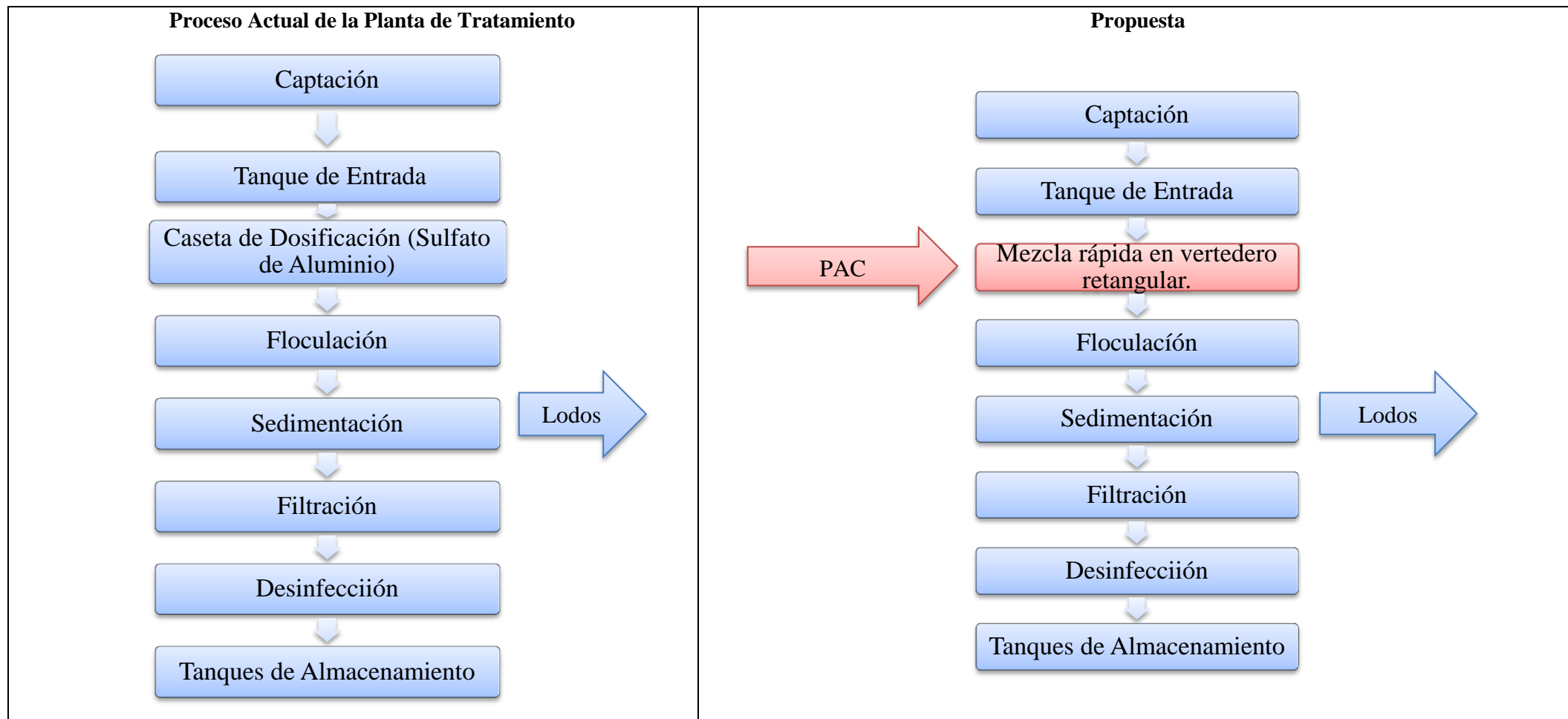
Elaborado por: DELGADO, Ligia

En el gráfico 3-3 se puede observar la alta eficiencia del porcentaje de remoción que posee el sistema de potabilización propuesto, removiendo impurezas y contaminantes que arrastra el agua durante su recorrido en épocas de lluvia.

Siendo la eficiencia de la planta un promedio de 96,39 % debido a la acción del coagulante que actúan eficientemente durante las pruebas de jarras, para así de esta manera controlar los parámetros físico-químicos dentro de la norma.

### 3.3 Propuesta de optimización de la Planta de potabilización de agua

Con el fin de obtener agua potable de acuerdo a los requisitos establecidos por la Norma INEN 1108:2011, es necesario efectuar un tratamiento que garantice su consumo sin generar riesgos a los consumidores, por tal motivo es indispensable proponer la optimización de la planta de tratamiento de agua potable del Sector de San Vicente Alto de la Ciudad de Echeandía del Cantón Bolívar. En esta planta se encuentra 4 parámetros físico-químicos fuera de norma, como son: color, turbiedad, nitritos y fosfatos.



Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

### 3.4 Presupuesto General

#### 3.4.1 Presupuesto de la optimización de la planta de potabilización

La siguiente tabla se presenta el presupuesto de la construcción del proceso propuesto para la planta de tratamiento de agua potable del Sector San Vicente Alto de la Ciudad de Echeandía del Cantón Bolívar.

**Tabla 3- 9 Presupuesto General**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>OBRA CIVIL: VERTEDERO RECTANGULAR</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	3,5	0,46	1,61
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	3	3,81	11,43
Hormigón simple F'C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	3,5	162,24	567,84
Enlucido vertical con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	3,64	13,60	49,50
Encofrado y desencofrado	m <sup>2</sup>	1,5	6,50	9,75
Malla electrosoldada 10-20	m <sup>2</sup>	3,64	6,67	24,27
Bomba Dosificadora	-----	-----	-----	<b>585,00</b>
Extras	-----	-----	-----	200
<b>Total:</b>				<b>1449,4</b>

#### 3.4.2 Costos de operación

##### 3.4.2.1 Costos de operación al día

**Tabla 3- 10 Costos de operación para Policloruro de aluminio época invernal**

Coagulante	Dosis	Presentación	Costo (\$)	Costo Total
Policloruro de Aluminio	21,34 (kg/día)	Sacos de 25 kg	35	29,88 (\$/día)

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015



### 3.4.2.2 Comparación entre Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio

**Tabla 3- 11 Comparación de costos de operación entre Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio**

<b>Costos con el tratamiento actual de Sulfato de Aluminio</b>			
<b>Presentación</b>	<b>Costo de unidad por saco \$</b>	<b>Cantidad que se utiliza</b>	<b>Costo Total</b>
Sacos de 25 kg	18,25	50 kg	36,50 dólares/ día
<b>Costos con el tratamiento que se propone de PAC</b>			
Sacos de 25 kg	35	21,24 kg	29,88 dólares/ día

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

Es importante mencionar que actualmente en ocasiones gastan 1 saco de Sulfato de Aluminio al día en época de verano.

**Tabla 3- 12 Ahorro del Tratamiento entre Sulfato de Aluminio y PAC**

<b>Tratamiento actual con Sulfato de Aluminio</b>		
<b>Diario \$ /día</b>	<b>Mensual \$ /mes</b>	<b>Anual \$ /año</b>
36,50	1.095	13.140
<b>Tratamiento propuesto con PAC</b>		
<b>29,88</b>	896,4	10.756,8
<b>Ahorro Económico del tratamiento</b>		
6,62	198,6	2383,2

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

## 3.5 Propuesta de uso de PAC y su influencia en el consumo eléctrico

**Tabla 3- 13 Propuesta de consumo eléctrico anual para el uso de PAC**

ESTACIONES EN EL AÑO	MESES					PROPUESTA	
		Consumo mensual aproximado (Kw/H)	Valor (USD/Kw/h)	Consumo mensual (USD/Kw/h)	Consumo anual (USD/Kw/h)	Consumo mensual (Kw/H)	Valor anual (USD)
Invierno	Enero	500	0.095	47.5	570	500	185
	Febrero						
	Marzo						
	Abril						
Verano	Mayo					No es necesario el uso continuo de equipos de dosificación	
	Junio						
	Julio						
	Agosto						
	Septiembre						
	Octubre						
	Noviembre						
Invierno	Diciembre					125	

Elaborado por: DELGADO, Ligia. 2015

### 3.6 Análisis y discusión

Realizando las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del agua a la entrada y a la salida de la planta, teniendo como base la Norma INEN 1108:2011 cuarta revisión, se observó parámetros fuera de norma en época invernal siendo estos: color, turbiedad, nitritos y fosfatos; sin embargo estos parámetros pueden cumplir los valores establecidos por la Norma con una dosis adecuada de coagulante químico y esto se puede conseguir, realizando análisis en el laboratorio, del agua a tratar; uno de los principales análisis a realizar es la prueba de jarras en donde se obtiene la dosis correcta de coagulante.

En la prueba de jarras, el coagulante a utilizar es el Policloruro de Aluminio, con el cual realizando diferentes pruebas a diferentes concentraciones, obtenemos la dosificación apropiada para el mejoramiento de la calidad de esta agua, esto se puede apreciar en los siguientes resultados; en época lluviosa la dosificación de agente coagulante Policloruro de Aluminio es de

21, 34 kg/día y no se debe usar ningún químico en época de verano. Realizando la optimización de agua potable con prueba de jarras, se obtuvo resultados y estos se encuentran en la Tabla 3-7.

Una vez conocidos los resultados se obtendrá el porcentaje de remoción, teniendo resultados antes y después del tratamiento para cada parámetro, los porcentajes de remoción para la turbiedad es de 98,08 %, para el color es de 93,10 %, para los nitritos es de 100% y para los fosfatos es de 94,41 %.

Evidenciando una mejoría en el proceso con la dosificación adecuada de Policloruro de Aluminio.

Por lo expuesto anteriormente, se obtiene una mejoría importante en el rendimiento de la planta, principalmente con la dosificación del coagulante, eliminando los parámetros que se encontraban fuera de norma.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Con el diagnostico que se realizó en la planta se pudo evidenciar que existe fallas en el actual proceso aplicado, los cuales requieren una optimización del sistema de tratamiento.
- Se realizó la caracterización físico-químicos y microbiológicos, del agua de la planta y se idéntico que existe parámetros fuera de la norma.
- Los parámetros que se encuentran fuera de la norma son: La Turbiedad con 12,55 UNT con el limite permisible de 5 UNT, el Color con valor de 29 (Und Co/Pt) con el limite permisible de 15 (Und Co/Pt), los Nitritos teniendo un valor de 0,23 mg/L con el limite permisible de 0,2 mg/L y finalizando con los Fosfatos 2,15 mg/L con el limite permisible de <0,3.
- Se plantea una alternativa de mejora para el tratamiento del agua en el proceso de coagulación, con la utilización del coagulante de Policloruro de Aluminio con una dosificación de 21,34 kg/día en época de invierno; que reduce a una turbiedad de 0,24 UNT; color a 2 (Unid Co/Pt); nitritos a 0 mg/l y fosfatos a 0,12 mg/l; dándonos una agua de mejor calidad apta para el consumo humano
- Para la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, con el cambio de coagulante de Sulfato de Aluminio a Policloruro de Aluminio requiere la instalación de un vertedero rectangular, el cual nos sirve para la medición del caudal y una mezcla rápida para el coagulante químico, de acuerdo a los costos, se evidencia que los gastos por consumo de Policloruro de Aluminio, en épocas de invierno es de 29,88 dólares por día.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Se recomienda implementar el estudio realizado para mejorar la eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable, brindando un servicio de calidad.
- Realizar caracterizaciones periódicas del agua en la fuente de captación, con el propósito de obtener datos que nos faciliten identificar las posibles fuentes infectadas para evitar su utilización.
- Efectuar mantenimientos programados de toda la planta de tratamiento, con la utilización de cloro, para la eliminación de cualquier agente patógeno existente.
- Utilizar equipos de protección el personal para evitar posibles accidentes durante la operación de la planta.
- Realizar capacitaciones periódicas a todo el personal para que adquieran nuevos conocimientos e implanten estos en sus respectivas áreas de trabajo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1) **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.** Agua su Calidad y Tratamiento. México D.F.-México. Hispano Americana. 1968, pp. 47-131.
- 2) **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.** Agua su Calidad y Tratamiento. Medellín-Colombia. McGraw Hill. 2011, pp. 297-357; 363-441.
- 3) **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.** Calidad y Tratamiento del Agua. 5ª ed, Madrid-España. McGraw Hill. 2002, pp. 47-131; 137-296.
- 4) **ARBOLEDA, J.** Teoría y Prácticas de la Purificación del Agua. 3ª ed, Bogotá-Colombia. McGraw Hill. 2000, pp. 205-234.
- 5) **ECUADOR, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN.** Norma Técnica Ecuatoriana - Requisitos para el agua potable INEN 1108:2011. 4ª ed, Quito-Ecuador. 2011. pp. 1-4
- 6) **ROMERO, J.** Calidad del agua. 3ª ed, Bogotá-Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2009, pp. 337-350.
- 7) **ROMERO, J.** Purificación del agua. 2ª ed, Bogotá-Colombia. Universidad de Medellín. 2006, pp. 142-273.
- 8) **SIERRA C.** Calidad del Agua. Medellín-Colombia. Universidad de Medellín. 2011, pp. 27-80.

- 9) **SIERRA, C.** Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico. Medellín-Colombia. Universidad de Medellín. 2011, pp. 27-78.

## **INTERNET**

- 1) **DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE POLICLORURO DE ALUMINIO.**

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3146/1/6281622H565.pdf>

2015 - 09 - 12

- 2) **ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

<http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>

2015 - 09 - 12

- 3) **MEZCLA RÁPIDA**

[http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1](http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1_tomo1)

2015 - 09 - 12

- 4) **PRUEBA DE JARRAS**

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/leia/padilla\\_s\\_mf/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/padilla_s_mf/capitulo3.pdf)

2015 - 09 - 12

- 5) **TRATAMIENTO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE**

<http://www.canaleduca.com/documents/10157/19805/Tratamiento+de+desinfecci%C3%B3n+del+agua+potable>

2015 - 09 - 12

# ANEXOS

## ANEXO I: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE. REQUISITOS

### 1. OBJETO

**1.1** Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

### 2. ALCANCE

**2.1** Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

### 3. DEFINICIONES

**3.1** Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

**3.1.1** *Agua potable.* Es el agua cuyas características físicas, químicas, microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

**3.1.2** *Agua cruda.* Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

**3.1.3** *Límite máximo permitido.* Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números. (NTE INEN 052).

**3.1.4** *UFC/ml.* Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.



- 3.1.5** *NMP*. Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.
- 3.1.6** *mg/l.* (miligramos por litro). Unidades de concentración de parámetros físico químicos.
- 3.1.7** *Microorganismo patógeno*. Son los causantes de enfermedades para el ser humano.
- 3.1.8** *Plaguicidas*. Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repelar o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.
- 3.1.9** *Desinfección*. Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.
- 3.1.10** *Subproductos de desinfección*. Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.
- 3.1.11** *Cloro residual*. Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.
- 3.1.12** *Sistema de abastecimiento de agua potable*. El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.
- 3.1.13** *Sistema de distribución*. Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

#### **4. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS**

- 4.1** Los sistemas de abastecimiento de agua potable se acogerán al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerios de Salud Pública.

#### **5. REQUISITOS**

## 5.1 Requisitos específicos

### 5.1.1 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
<i>Características Físicas.</i>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
<i>Inorgánicos</i>		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, $\text{CN}^-$	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 <sup>1)</sup>
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, $\text{NO}_3^-$	mg/l	50
Nitritos, $\text{NO}_2^-$	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total $\alpha$ *	Bq/l	0,1
Radiación total $\beta$ **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleídos:  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$

\*\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleídos:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{228}\text{Ra}$

### Sustancia Orgánica

PARÁMETRO	UNIDAD.	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO.
<b>Hidrocarburos poli cíclicos</b> <b>Aromáticos HAP.</b> Benceno (a) pireno.	mg/l	0,0007
<b>Hidrocarburos:</b> ✓ Benceno ✓ Tolueno ✓ Xileno ✓ Estireno.	mg/l mg/l mg/l mg/l	0,01 0,7 0,5 0,02
1,2 dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroeteno	mg/l	0,02
Tetracloroeteno.	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Ácido Nitrilotriacético.	mg/l	0,2

### Plaguicidas

PARÁMETRO	UNIDAD.	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO.
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrín y Dieldrín	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos.	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrin	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002

### Residuos de Desinfectantes

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
Monocloramina,	mg/l	3

### Subproductos de Desinfección

PARÁMETRO	UNIDAD.	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO.
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
<b>Trihalometanos totales</b>	mg/l	0,5
Se pasa de 0,5 mg/l investigar		
✓ Bromodiclorometano.	mg/l	0,06

✓ Cloroformo.	mg/l	0,3
Ácido tricloroacético.	mg/l	0,2

#### Cianotoxinas

PARÁMETRO	UNIDAD.	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO.
Microcistina-LR	mg/l	0,001

**5.1.2** El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos:

#### Requisitos Microbiológicos.

	MÁXIMO
Coliformes fecales <sup>(1)</sup>	
✓ Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 *
✓ Filtración por membrana UFC/100ml	< 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , numero de ooquistes/100 litros	Ausencia
<i>Giardia</i> , numero de quistes/100 litros	Ausencia
<p>* &lt; 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm<sup>3</sup> ó 10 tubos de 10 cm<sup>3</sup> ninguno es positivo.</p> <p>** &lt; 1 significa que no se observa colonias.</p> <p><sup>(1)</sup> ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida.</p>	

#### 5.2 Requisitos complementarios

**5.2.1** Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos, no deberá ser superior a 100 UFC/ml.

### 6. INSPECCIÓN

#### 6.1 Muestreo

**6.1.1** El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse

de acuerdo a los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods).

- 6.1.2** El agua potable debe ser monitoreada permanentemente para asegurar que no se producen desviaciones en los parámetros aquí indicados.
- 6.1.3** El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo a lo establecido en los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods).

## **7. MÉTODOS DE ENSAYO**

- 7.1** Los Métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods) especificados en su última edición. En caso que no conste el método de análisis para un parámetro en el Standard Methods, se utilizará un método estandarizado propuesto por un organismo reconocido.

**Fuente:** NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE. REQUISITOS  
**Elaborado por:** DELGADO, Ligia. 2015

1. ASPECTOS GENERALES

PRODUCTO:

Cloro Gas

FORMULA

Cl<sub>2</sub>

DESCRIPCION:

Líquido color ámbar, gas amarillo verdoso.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

COMPONENTE	ESPECIFICACIÓN	
	Min.	Max
Concentración como Cl <sub>2</sub> en volumen	99.5	
Humedad (p.p.m)		150
Residuo no volátil (p.p.m)		150

3. EMPAQUE Y EMBARQUE

Cilindros de 68, 907 y 1 000 kg. Netos

NOTA: Los datos contenidos en boletín tienen por objeto orientar y dar servicio.

Dirección: Baños, Trece de mayo s/n y Villalobos  
 TELF: 4092344. EMAIL: [quimicalzen@gmail.com](mailto:quimicalzen@gmail.com)  
 CUENCA - ECUADOR

FICHA TÉCNICA CLORO GAS		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  INGENIERÍA QUÍMICA  Ligia Margarita Delgado Ruiz	
Lámina	Escala	Fecha	
1			

Notas	Categoría del Diagrama
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por Calificar

**FICHA TECNICA PLICLORURO DE ALUMINIO TIPO A**

**1. ASPECTOS GENERALES**

Policloruro de Aluminio es un polímero inorgánico en polvo, con alta concentración de Al2O3 (mínimo 30%). Su fuerte poder desestabilizador de cargas permite una completa coagulación de los sólidos presentes en el agua permitiendo obtener los niveles de color y turbidez dentro de los rangos óptimos para agua de consumo humano.

**2. CARACTERÍSTICAS**

Parámetro	Valor
Apariencia	Polvo
Color	Amarillento
Olor	Penetrante
Al2O3 %	30 min
Basicidad	40 -80
pH (solución 1% en agua)	3,5 - 5,0
Insolubles %	0,1
As % ≤	0,0002
Cd % ≤	0,0002
Hg % ≤	0,00001
Pb % ≤	0,001
Mn % ≤	0,04
Cr 6+ % ≤	0,0005
Fe	0,1

**3. USOS**

El Policloruro de Aluminio es un polímero coagulante • floculante utilizado en:

- Purificación de agua de ríos, lagos, subterráneos y aguas de uso industrial.
- La purificación de aguas residuales en la industria de impresión, del procesamiento de cuero, industria cárnica, industria metalúrgica, fabricación de papel.
- La purificación de los residuos de agua que contiene flúor, aceite y metales pesados.

**FICHA TÉCNICA DEL  
POLICLORURO DE ALUMINIO.**

Lámina	Escala	Fecha
2		

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE  
 CHIMBORAZO  
  
 INGENIERÍA QUÍMICA  
  
 Ligia Margarita Delgado Ruiz

- Categoría del Diagrama
- ☐ Certificado
  - ☐ Por Aprobar
  - ☐ Aprobado
  - ☐ Para Información
  - ☐ Por Calificar

Notas





-Muy eficiente en el tratamiento de aguas con un alto contenido de hierro y aguas duras o con color.

**Muy efectivo a bajas concentraciones, lo que disminuye los costos del tratamiento.**

-Su doble función de coagulante/floculante hace que no sea necesario en la mayoría de los casos el uso de floculantes de alto peso molecular.

#### 4. BENEFICIOS

**-Puede ser diluido a cualquier concentración.**

-Sustituye parcial o totalmente la aplicación de sulfato de aluminio, permitiendo obtener bajos residuales de sulfatos y aluminio.

## 5. MANEJO DEL PRODUCTO

Para el manejo del producto es necesario el uso de guantes y gafas de seguridad. En caso de contacto con los ojos es necesario lavarse con abundante agua y jabón. Si se presenta irritación se debe acudir de inmediato a un médico.

## 6. PRESENTACIÓN

**El Policloruro de Aluminio se despacha en sacos de 25kg.**

Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  INGENIERÍA QUÍMICA  Ligia Margarita Delgado Ruiz	FICHA TÉCNICA DEL POLICLORURO DE ALUMINIO.		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por Calificar		Lámina	Escala	Fecha
			3		

ANEXO IV ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS PRIMERA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA INVERNO

1

2

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Ligia Delgado

Fecha de análisis: 26 de Marzo del 2015

Fecha de entrega de resultados: 31 de Marzo del 2015

Tipo de muestra: Agua para consumo domestico. Agua Cruda

Localidad: Sistema de agua de consumo doméstico. Ciudad de Echeandia

TRABAJO DE TESIS      Código: 0042-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	Und Co/Pt	< 15	30
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.53
Conductividad	µ Siemens/cm	< 1250	60
Turbiedad	UNT	5	9.5
Cloruros	mg/L	250	2.8
Dureza	mg/L	300	28
Calcio	mg/L	70	4.8
Magnesio	mg/L	30 - 50	3.9
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	70
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	71.4
Sulfatos	mg/L	200	16
Amonios	mg/L	< 0.50	0.01
Nitritos	mg/L	0.01	0.018
Nitratos	mg/L	< 40	0.01
Hierro	mg/L	0.30	0.14
Fluoruros	mg/L	< 1.5	0.01
Fosfatos	mg/L	< 0.50	3.18
Sólidos Totales	mg/L	1000	312
Sólidos Disueltos	mg/L	500	32

Observaciones:

Valores de Color, Turbiedad, Nitritos y Fosfatos fuera de la norma.

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANALISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4701      Telefax: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Ligia Delgado

Fecha de análisis: 26 de Marzo del 2015

Fecha de entrega de resultados: 31 de Marzo del 2015

Tipo de muestra: Agua para consumo domestico. Agua Tratada

Localidad: Sistema de agua de consumo doméstico. Ciudad de Echeandia

TRABAJO DE TESIS      Código: 0043-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	Und Co/Pt	< 15	17
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.03
Conductividad	µ Siemens/cm	< 1250	61
Turbiedad	UNT	5	4.3
Cloruros	mg/L	250	6.3
Dureza	mg/L	300	68
Calcio	mg/L	70	4.8
Magnesio	mg/L	30 - 50	13.6
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	50.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	51.6
Sulfatos	mg/L	200	15.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.010
Nitritos	mg/L	0.01	0.020
Nitratos	mg/L	< 40	0.010
Hierro	mg/L	0.30	0.000
Fluoruros	mg/L	< 1.5	0.010
Fosfatos	mg/L	< 0.50	1.200
Sólidos Totales	mg/L	1000	140
Sólidos Disueltos	mg/L	500	52

Observaciones:

Valores de color, nitritos y fosfatos fuera de norma

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANALISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
1.- Análisis Físico-Químicos Primera Semana Captación	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Para Información</div> <div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div>	INGENIERÍA QUÍMICA	Lámina	Escala	Fecha
2.- Análisis Físico-Químicos Primera Semana Agua Tratada			4		
		Ligia Margarita Delgado Ruiz			

## ANEXO V ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS SEGUNDA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA INVERNO

3

4

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telfax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Sra. Ligia Delgado

Fecha de análisis: 4 de Abril del 2015

Fecha de entrega de resultados: 10 de Abril del 2015

Tipo de muestra: Agua para consumo domestico. Agua Cruda

Localidad: Sistema de agua de consumo domestico. Ciudad de Echeandia

TRABAJO DE TESIS Código: 0044-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	Und CoPt	< 15	28
pH	Und	6,5 - 8,5	6,83
Conductividad	µ Siemens/cm	< 2250	38
Turbiedad	UNT	5	8,1
Cloruros	mg/L	250	3,5
Nitritos	mg/L	300	38
Calcio	mg/L	70	4,8
Magnesio	mg/L	30 - 50	6,6
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	40
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	61,4
Sulfatos	mg/L	200	14
Amonio	mg/L	< 0,10	0,01
Nitrogeno	mg/L	0,97	0,022
Nitrosos	mg/L	< 40	0,01
Hierro	mg/L	0,30	0,018
Fósforo	mg/L	< 2,5	0,008
Fenoles	mg/L	< 0,10	1,12
Sólidos Totales	mg/L	1000	240
Sólidos Disueltos	mg/L	500	32

\* Valores referenciados para aguas de consumo domestico

Observaciones: Valores de Color, Turbiedad, Nitrosos y Fenoles fuera de la norma.

Acreditamos:

Dr. Gina Alvarez B.  
RESP. LAB. Q.S. TESIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telfax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Sra. Ligia Delgado

Fecha de análisis: 4 de Abril del 2015

Fecha de entrega de resultados: 10 de Abril del 2015

Tipo de muestra: Agua para consumo domestico. Agua Tratada

Localidad: Sistema de agua de consumo domestico. Ciudad de Echeandia

TRABAJO DE TESIS Código: 0045-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	Und CoPt	< 15	18
pH	Und	6,5 - 8,5	6,93
Conductividad	µ Siemens/cm	< 2250	38
Turbiedad	UNT	5	5
Cloruros	mg/L	250	6,5
Nitritos	mg/L	300	38
Calcio	mg/L	70	8
Magnesio	mg/L	30 - 50	8,90
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	40
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	40
Sulfatos	mg/L	200	14
Amonio	mg/L	< 0,10	0,010
Nitrogeno	mg/L	0,97	0,011
Nitrosos	mg/L	< 40	0,08
Hierro	mg/L	0,30	0,014
Fósforo	mg/L	< 2,5	0,010
Fenoles	mg/L	< 0,10	0,50
Sólidos Totales	mg/L	1000	124
Sólidos Disueltos	mg/L	500	22

\* Valores referenciados para aguas de consumo domestico

Observaciones: Valores de color, nitrosos y fenoles fuera de la norma.

Acreditamos:

Dr. Gina Alvarez B.  
RESP. LAB. Q.S. TESIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Notas

Categoría del Diagrama

3.- Análisis Físico-Químico Segunda Semana Captación  
4.- Análisis Físico-Químicos Segunda Semana Agua Tratada

- ☐ Certificado
- ☐ Por Aprobar
- ☐ Aprobado
- ☐ Para Información
- ☐ Por Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

INGENIERÍA QUÍMICA

Ligia Margarita Delgado Ruiz

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Lámina

Escala

Fecha

5

ANEXO VI ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS TERCERA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA VERANO

5

6

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703    Telefon: 2998200 ext 332    Eshwartha - Ecuador

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Seta, Ligia Delgado

Fecha de analisis: 24 de junio de 2013

Fecha de entrega de resultados: 29 de junio del 2013

Tipo de muestra: Agua para consumo domestico - Agua Cruda

Localidad: Sistema de agua de consumo domestico, Ciudad de Eshwartha

TRABAJO DE TESIS    Codigo: 0046-15

Determinaciones	Unidades	*Limites	Resultados
Color	Und. Co/Pt	< 15	14
pH	Und	6.5 - 8.5	6.78
Conductividad	µS/cm a 25°C	< 1250	60
Turbiedad	UNT	5	2.3
Cloruros	mg/L	250	6.0
Nitrosos	mg/L	50	5.1
Nitritos	mg/L	50	16.4
Magnesio	mg/L	50 - 50	8.7
Alcalinidad	mg/L	250 - 500	50
Bicarbonatos	mg/L	250 - 500	71.4
Sulfatos	mg/L	200	1.4
Calcio	mg/L	< 0.50	0.18
Sodio	mg/L	< 0.01	0.03
Potasio	mg/L	< 40	0.010
Hierro	mg/L	< 0.30	0.150
Fosforo	mg/L	< 1.5	0.15
Fluoruro	mg/L	< 0.50	0.36
Cloruro Total	mg/L	1000	880
Sulfato Total	mg/L	500	12

\* Valores referenciados para aguas de consumo domestico

Elaboraciones:

Atestamiento:

Dra. Gina Alvarado Ruiz

RESP. LAB. ANALISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703    Telefon: 2998200 ext 332    Eshwartha - Ecuador

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Seta, Ligia Delgado

Fecha de analisis: 24 de junio de 2013

Fecha de entrega de resultados: 29 de junio del 2013

Tipo de muestra: Agua para consumo domestico - Agua Tratada

Localidad: Sistema de agua de consumo domestico, Ciudad de Eshwartha

TRABAJO DE TESIS    Codigo: 0047-15

Determinaciones	Unidades	*Limites	Resultados
Color	Und. Co/Pt	< 15	18
pH	Und	6.5 - 8.5	6.63
Conductividad	µS/cm a 25°C	< 1250	60
Turbiedad	UNT	5	2.3
Cloruros	mg/L	250	6.0
Nitrosos	mg/L	50	47.2
Nitritos	mg/L	50	15.4
Magnesio	mg/L	50 - 50	2.1
Alcalinidad	mg/L	250 - 500	12.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 500	12.0
Sulfatos	mg/L	200	27.0
Calcio	mg/L	< 0.50	0.120
Sodio	mg/L	0.01	0.010
Potasio	mg/L	< 40	0.010
Hierro	mg/L	0.30	0.010
Fluoruro	mg/L	< 1.5	0.500
Fosforo	mg/L	< 0.50	0.170
Cloruro Total	mg/L	1000	265.0
Sulfato Total	mg/L	500	12.0

\* Valores referenciados para aguas de consumo domestico

Observaciones:

Valores de color nitroso y sulfato fuera de norma

Atestamiento:

Dra. Gina Alvarado Ruiz

RESP. LAB. ANALISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Notas

5.- Análisis Físico-Químico Tercera Semana Captación

6.- Análisis Físico-Químicos Tercera Semana Agua Tratada

Categoría del Diagrama

☐ Certificado

☐ Por Aprobar

☐ Aprobado

☐ Para Información

☐ Por Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

INGENIERÍA QUÍMICA

Ligia Margarita Delgado Ruiz

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Lámina

6

Escala

Fecha

## ANEXO VII ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS CUARTA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA VERANO

7

**ESPOCH**

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Teléfono: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Ligia Delgado

Fecha de análisis: 8 de julio de 2015

Fecha de entrega de resultados: 13 de julio del 2015

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico - Agua Cruda

Localidad: Sistema de agua de consumo doméstico, Ciudad de Eschandia

TRABAJO DE TESIS Código: 0048-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	Und. CoPt	< 15	14
pH	Unid.	6.5 - 8.5	7.01
Conductividad	µ Siemens/cm	< 1250	88
Temperatura	UNF	3	6.3
Cloruros	mg/L	250	6.4
Fluoruros	mg/L	500	43.2
Calcio	mg/L	50	12.4
Magnesio	mg/L	30 - 50	2.3
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	48.0
Dureza total	mg/L	250 - 300	71.4
Sulfatos	mg/L	250	11.0
Amonio	mg/L	< 0.50	0.180
Nitrato	mg/L	0.01	0.009
Nitrito	mg/L	< 40	0.180
Hierro	mg/L	0.30	0.290
Fósforo	mg/L	< 1.3	0.190
Fosfato	mg/L	< 0.30	0.290
Sólidos Totales	mg/L	1000	300.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	43.0

\* Límites referenciados para aguas de consumo doméstico

Observaciones:

Atestamiento,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANALISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

8

**ESPOCH**

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Teléfono: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Ligia Delgado

Fecha de análisis: 8 de julio de 2015

Fecha de entrega de resultados: 13 de julio del 2015

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico - Agua Tratada

Localidad: Sistema de agua de consumo doméstico, Ciudad de Eschandia

TRABAJO DE TESIS Código: 0048-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	Und. CoPt	< 15	14
pH	Unid.	6.5 - 8.5	7.61
Conductividad	µ Siemens/cm	< 1250	88
Temperatura	UNF	3	6.3
Cloruros	mg/L	250	6.7
Fluoruros	mg/L	500	43.2
Calcio	mg/L	50	12.4
Magnesio	mg/L	30 - 50	2.3
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	48.0
Dureza total	mg/L	250 - 300	48.0
Sulfatos	mg/L	250	11.0
Amonio	mg/L	< 0.50	0.009
Nitrato	mg/L	0.01	0.007
Nitrito	mg/L	< 40	0.000
Hierro	mg/L	0.30	0.290
Fósforo	mg/L	< 1.3	0.010
Fosfato	mg/L	< 0.30	0.140
Sólidos Totales	mg/L	1000	300.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	48.0

\* Límites referenciados para aguas de consumo doméstico

Observaciones:

Atestamiento,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANALISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Notas

Categoría del Diagrama

7.- Análisis Físico-Químico Cuarta Semana Captación  
8.- Análisis Físico-Químicos Cuarta Semana Agua Tratada

- ☐ Certificado
- ☐ Por Aprobar
- ☐ Aprobado
- ☐ Para Información
- ☐ Por Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE  
CHIMBORAZO

INGENIERÍA QUÍMICA

Ligia Margarita Delgado Ruiz

**ANÁLISIS DE  
LABORATORIO**

Lámina

Escala

Fecha

7

## ANEXO VIII ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS PRIMERA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA INVIERNO

9

**SAQMIC**

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA CÓDIGO 205-15

CLIENTE: Sra. Lilia Margarita Delgado  
 DIRECCIÓN: Manuel Rosdon y Manuel de Santiago  
 TIPO DE MUESTRA: Agua de captación inicio  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 25 de marzo de 2015  
 FECHA DE MUESTREO: 25 de marzo de 2015

EXAMEN FÍSICO  
 COLOR: incoloro  
 OLOR: inoloro  
 ASPECTO: Libre de material extraño

PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales (UFC/100mL)	Filtración por membrana	—	6340
Coliformes fecales (UFC/100mL)	Filtración por membrana	<1	110

Norma INN 1106:2011  
 OBSERVACIONES:

FECHA DE ANÁLISIS: 25 de marzo de 2015  
 FECHA DE ENTREGA: 27 de marzo de 2015  
 RESPONSABLES:

Dra. Gina Álvarez R. Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

10

**SAQMIC**

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA CÓDIGO 206-15

CLIENTE: Sra. Lilia Margarita Delgado  
 DIRECCIÓN: Manuel Rosdon y Manuel de Santiago  
 TIPO DE MUESTRA: Agua tanque de distribución final  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 25 de marzo de 2015  
 FECHA DE MUESTREO: 25 de marzo de 2015

EXAMEN FÍSICO  
 COLOR: incoloro  
 OLOR: inoloro  
 ASPECTO: Libre de material extraño

PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales (UFC/100mL)	Filtración por membrana	—	Ausencia
Coliformes fecales (UFC/100mL)	Filtración por membrana	<1	Ausencia

Norma INN 1106:2011  
 OBSERVACIONES:

FECHA DE ANÁLISIS: 25 de marzo de 2015  
 FECHA DE ENTREGA: 27 de marzo de 2015  
 RESPONSABLES:

Dra. Gina Álvarez R. Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
9.- Análisis Microbiológicos Primera Semana Captación 10.- Análisis Microbiológicos Primera Semana Agua Tratada	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por Calificar	INGENIERÍA QUÍMICA  Ligia Margarita Delgado Ruiz	Lámina	Escala	Fecha
			8		



ANEXO IX ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS TERCERA Y CUARTA SEMANA AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA ÉPOCA VERANO

11

LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES  
Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006  
Nº SE: 003 - 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Margarita Delgado INFORME Nº: 003 - 15  
EMPRESA: Proyecto de Tesis S.S.P.O.C.H. Nº SE: 003 - 15  
DIRECCIÓN: Manuel Rendón y Miguel de Santiago  
FECHA DE RECEPCIÓN: 24 - 06 - 15  
FECHA DE INFORME: 24 - 06 - 15  
TELÉFONO: 092710425

NÚMERO DE MUESTRAS: 2 Agua potable, Estanciales TIPO DE MUESTRA:  
IDENTIFICACIÓN: MA - 003 - 15 Captación Agua  
MA - 003 - 15 Tanque de almacenamiento Agua

El laboratorio es responsable solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 003 - 15

PARAMETROS	UNIDADES	METODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UNIDAD	FECHA DE ANÁLISIS
Coliformes totales	NMP/100	ESTÁNDAR MÉTODOS SOT - 2	NS	N/A	24 - 06 - 15
Coliformes fecales	NMP/100	ESTÁNDAR MÉTODOS SOT - 5	+ 2 (Aumentar)	N/A	24 - 06 - 15

MA - 003 - 15

PARAMETROS	UNIDADES	METODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UNIDAD	FECHA DE ANÁLISIS
Coliformes totales	NMP/100	ESTÁNDAR MÉTODOS SOT - 2	NS	N/A	24 - 06 - 15
Coliformes fecales	NMP/100	ESTÁNDAR MÉTODOS SOT - 5	+ 2 (Aumentar)	N/A	24 - 06 - 15

MÉTODOS UTILIZADOS: Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales AFNOR, AFNOR, AFNOR, AFNOR, ESTÁNDAR MÉTODOS 2ª EDICIÓN y Método AFNOR adaptado de ESTÁNDAR MÉTODOS 2ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:  
Dr. Juan Carlos Lara R.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO S.A.

Una institución de servicios ambientales debe ser responsable de los servicios ambientales.  
Una institución de servicios ambientales debe ser responsable de los servicios ambientales.  
Una institución de servicios ambientales debe ser responsable de los servicios ambientales.

Página 1 de 5

YMA 2000-41

12

LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES  
Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006  
Nº SE: 003 - 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Margarita Delgado INFORME Nº: 003 - 15  
EMPRESA: Proyecto de Tesis S.S.P.O.C.H. Nº SE: 003 - 15  
DIRECCIÓN: Manuel Rendón y Miguel de Santiago  
FECHA DE RECEPCIÓN: 24 - 06 - 15  
FECHA DE INFORME: 24 - 06 - 15  
TELÉFONO: 092710425

NÚMERO DE MUESTRAS: 2 Agua potable, Estanciales TIPO DE MUESTRA:  
IDENTIFICACIÓN: MA - 003 - 15 Captación Agua  
MA - 003 - 15 Tanque de almacenamiento Agua

El laboratorio es responsable solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 003 - 15

PARAMETROS	UNIDADES	METODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UNIDAD	FECHA DE ANÁLISIS
Coliformes totales	NMP/100	ESTÁNDAR MÉTODOS SOT - 2	NS	N/A	24 - 06 - 15
Coliformes fecales	NMP/100	ESTÁNDAR MÉTODOS SOT - 5	NS	N/A	24 - 06 - 15

MA - 003 - 15

PARAMETROS	UNIDADES	METODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UNIDAD	FECHA DE ANÁLISIS
Coliformes totales	NMP/100	ESTÁNDAR MÉTODOS SOT - 2	+ 2 (Aumentar)	N/A	24 - 06 - 15
Coliformes fecales	NMP/100	ESTÁNDAR MÉTODOS SOT - 5	+ 2 (Aumentar)	N/A	24 - 06 - 15

MÉTODOS UTILIZADOS: Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales AFNOR, AFNOR, AFNOR, AFNOR, ESTÁNDAR MÉTODOS 2ª EDICIÓN y Método AFNOR adaptado de ESTÁNDAR MÉTODOS 2ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:  
Dr. Juan Carlos Lara R.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO S.A.

Una institución de servicios ambientales debe ser responsable de los servicios ambientales.  
Una institución de servicios ambientales debe ser responsable de los servicios ambientales.  
Una institución de servicios ambientales debe ser responsable de los servicios ambientales.

Página 1 de 5

YMA 2000-41

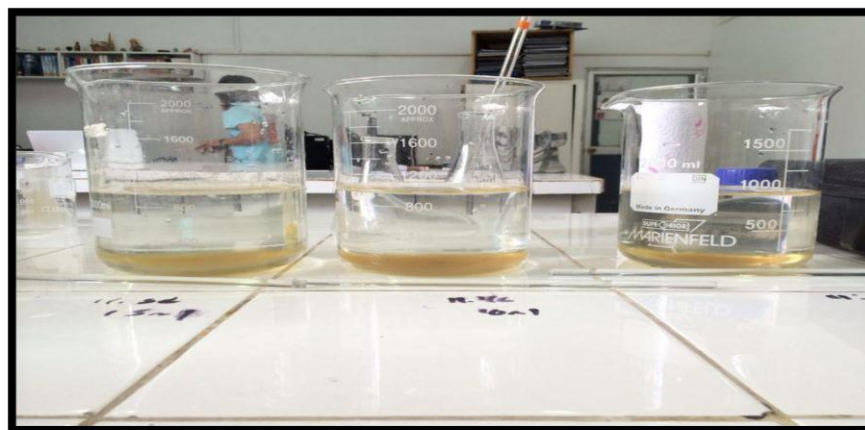
Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
11.- Análisis Microbiológicos Tercera Semana Captación	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Para Información</div> <div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div>	INGENIERÍA QUÍMICA	Lámina	Escala	Fecha
12.- Análisis Microbiológicos Cuarta Semana Agua Tratada			9		
		Ligia Margarita Delgado Ruiz			

## ANEXO X PRUEBAS DE JARRAS

13



14



Notas

Categoría del Diagrama

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE  
CHIMBORAZO

INGENIERÍA QUÍMICA

Ligia Margarita Delgado Ruiz

**ANÁLISIS DE  
LABORATORIO**

Lámina

Escala

Fecha

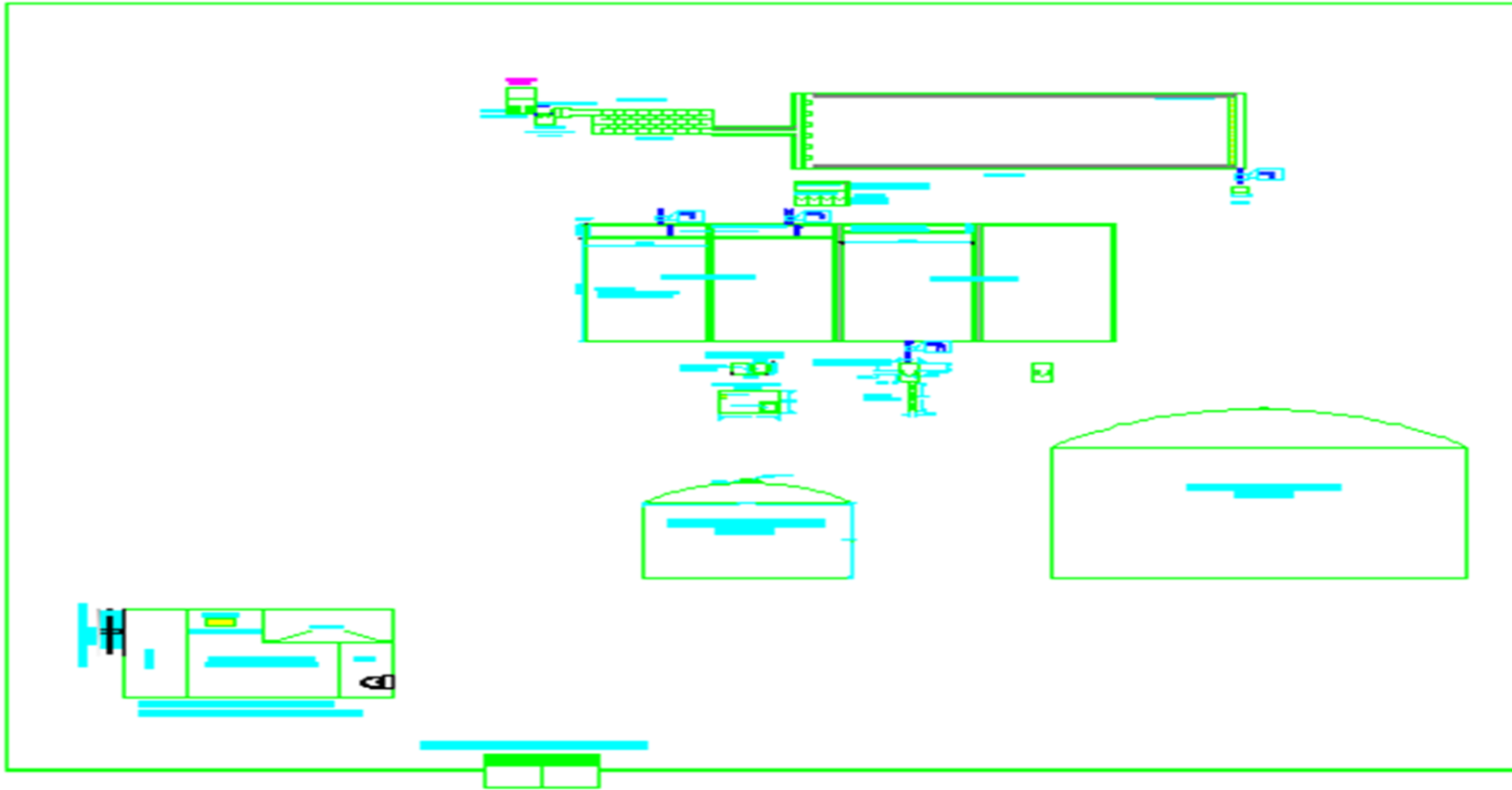
10

13.- Policloruro de Aluminio  
14.- Pruebas de Jarras

- ☐ Certificado
- ☐ Por Aprobar
- ☐ Aprobado
- ☐ Para Información
- ☐ Por Calificar



## ANEXO XI PLANTA DE TRATAMIENTO



Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  INGENIERÍA QUÍMICA  Ligia Margarita Delgado Ruiz	PLANTA DE TRATAMIENTO		
15. –Estado Actual de la Planta	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Para Información</div> <div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div>		Lámina	Escala	Fecha
			11		



**QUIMICALZEN CÍA. LTDA.**  
Especialistas en tratamiento de Aguas, Calderos, Bombas,  
Ablandadores, Equipos, Asesoría Técnica y más.

COD: QC-05-080

Cuenca, 20 de Octubre de 2015.

Señores:  
Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Echeandía CAPAE  
Atención: Sra. Ligia Delgado  
Presente.-

Reciba un cordial y atento saludo de quienes conformamos la empresa QUIMICALZEN CIA. LTDA., a la vez que por medio de la presente me permito presentarle la oferta económica del producto requerido.

CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	BOMBA DOSIFICADORA AUTOMATICA Marca: Chem Tech; Casa: PULSAFEEDER Series: 250; Modelo: X253 Caudal: 0 – 76,8 GPD; Presión: Max. 225 PSI	585,00	585,00

A este valor se adicionará el 12% de IVA correspondiente.  
Tiempo de entrega: inmediato salvo venta previa.  
Forma de pago: Contado.  
Validez de la oferta: 15 días.

La cotización incluye transporte e instalación.

Atentamente,

**Ing. Jorge Zenteno G.**  
Gerente Quimicalzen Cía. Ltda.

Dirección: Av. Pumapungo 18-123  
Teléfono: 2872087 Celular: 09946356520  
E-mail: quimicalzen@gmail.com/gerenciaventas@quimicalzen.com  
CUENCA-ECUADOR

Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  INGENIERÍA QUÍMICA  Ligia Margarita Delgado Ruiz	PLANTA DE TRATAMIENTO		
			Lámina	Escala	Fecha
			12		

- ☐ Certificado
- ☐ Por Aprobar
- ☐ Aprobado
- ☐ Para Información
- ☐ Por Calificar

16. –Cotización Bomba dosificadora automática



**QUIMICALZEN CÍA. LTDA.**  
Especialistas en tratamiento de Aguas, Calderos, Bombas,  
Ablandadores, Equipos, Asesoría Técnica y más.

COD: QC-05-079

Cuenca, 20 de Octubre de 2015.

**Señores:**  
**Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Echeandía CAPAE**  
Atención: Srta. Ligia Delgado  
Presente.-

Reciba un cordial y atento saludo de quienes conformamos la empresa QUIMICALZEN CÍA. LTDA., a la vez que por medio de la presente me permito presentarle la oferta económica del producto requerido.

Item	Cantidad	Descripción	Precio unitario
1	1 Kg	Regulador de pH sólido	2,40
2	1 Kg	Pólicloruro de aluminio sólido	1,40

A este valor se adicionará el 12% de IVA correspondiente.  
Tiempo de entrega: Inmediata.  
Forma de pago: Contra entrega del producto.  
Validez de la oferta: 15 días.  
La cotización incluye transporte.

Atentamente,

**Ing. Jorge Zenteno G.**  
**Gerente Quimicalzen Cía. Ltda.**

Dirección: Av. Pumapungo 18-123  
Teléfono: 2872087 Celular: 0994635620  
E-mail: quimicalzen@gmail.com/gerenciaventas@quimicalzen.com  
CUENCA-ECUADOR

Notas		Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  INGENIERÍA QUÍMICA  Ligia Margarita Delgado Ruiz	COTIZACIÓN		
17. –Cotización PAC	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por Calificar		Lámina	Escala	Fecha